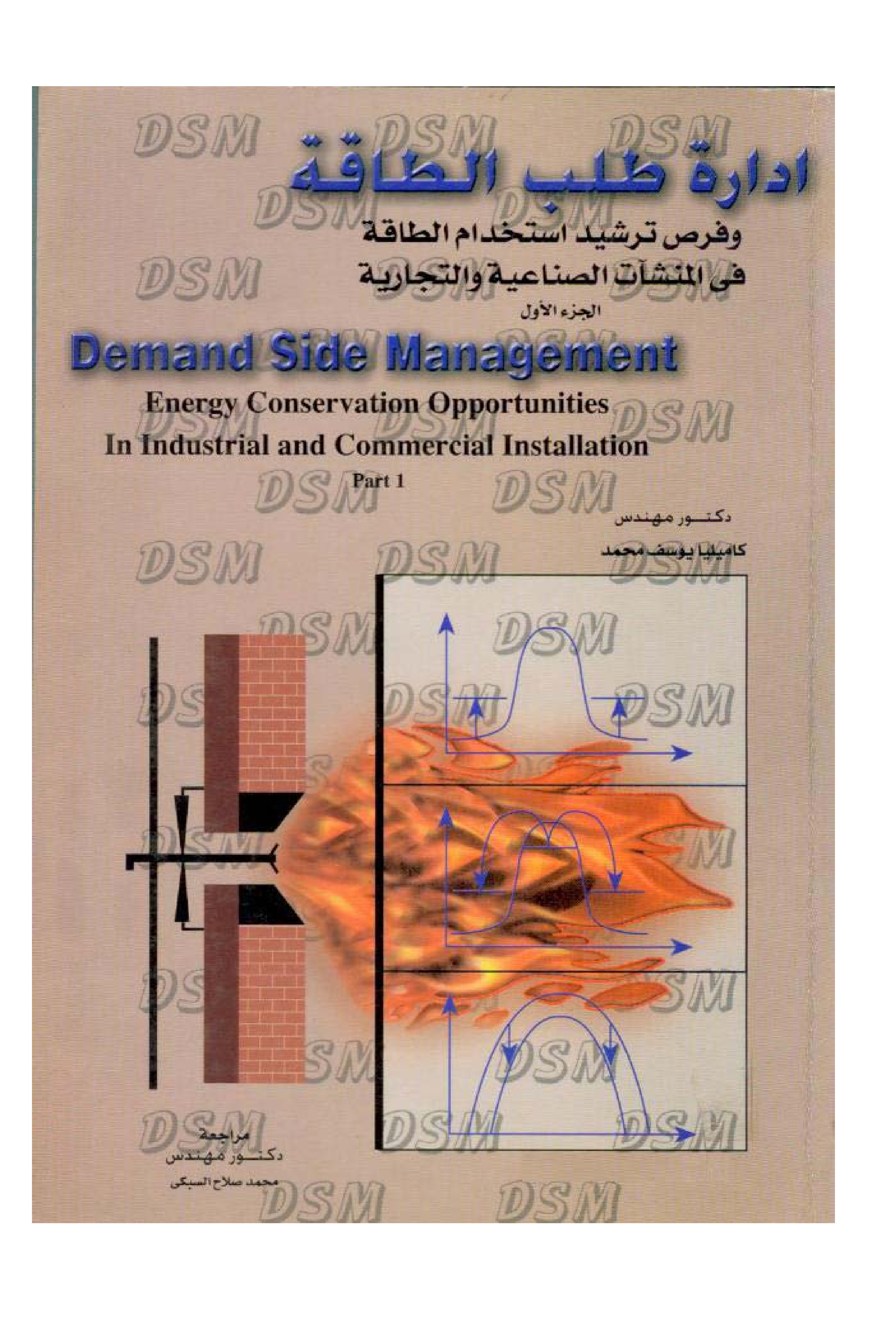

ادارة طلب الطاقة
وفرص ترشيد استخدام الطاقة
فى المنشآت الصناعية والتجارية
الجزء الأول
Demand Side Management
Energy Conservation Opportunities
In Industrial and Commercial Installation
Part 1
دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد
مراجعة
دكتور مهندس
محمد صلاح السبكى

ادارة طلب الطاقة
وفرص ترشيد استخدام الطاقة
فى المنشآت الصناعية والتجارية
الجزء الأول

Demand Side Management
Energy Conservation Opportunities
In Industrial and Commercial Installation
Part 1

دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد

مراجعة
دكتور مهندس
محمد صلاح السبكى

الطبعة الأولى فى ديسمبر ١٩٩٧

الطبعة الثانية فى أبريل ٢٠٠٠

الطبعة الثالثة فى سبتمبر ٢٠٠٢

تصميم الغلاف
مهندس / أحمد طه هاشم

بسم الله الرحمن الرحيم

« وَلاَ تُسرِفُوا إِنَّهُ لاَ يُحِبُّ المُسرِفِينَ »

صدَقَ الله العظِيم

سُورَةَ الأعراف ـ الآية ٣١

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله الذى مكننى من إعداد الجزء الاول من كتاب إدارة طلب الطاقة وفرص ترشيد استخدام الطاقة فى المنشآت الصناعية و التجارية . يشتمل الكتاب على الأبواب الآتية : التعريف بإدارة طلب الطاقة - طلب الطاقة للمستهلك - نظم البخار والمتكاثف - الغلايات ونظم الإحتراق - الأفران - نظم التكييف .
هذا وسنتعرض إن شاء الله فى الجزء الثانى إلى التعريفة ، تخطيط برنامج إدارة طلب الطاقة ، تكنولوجيا التطبيق ، تطبيقات عملية ....

أتقدم بخالص الشكر للسيد المهندس / أحمد مصطفى المفتى رئيس مجلس الإدارة والعضو المنتدب بإسمى وإسم المهندسين والفنيين اللذين استفادوا بمجموعة الكتب العلمية والعملية التى صدرت باللغة العربية وعلى استمرار تشجيع سيادته الدائم لكل جديد فى العلم .
وقد قام بمراجعة الكتاب السيد الدكتور / محمد صلاح السبكى الذى بذل جهدا مشكورا فى المساهمة فى إخراج الكتاب على هذه الصورة .

وأدعو الله أن تعم الفائدة المرجوة من وراء هذا الكتاب جموع المهندسين والفنيين المهتمين بهذا المجال .
وفقنا الله إلى مافيه خير مصرنا الحبيبة وصلى اللهم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم .

إسكندرية فى ديسمبر ١٩٩٧

د. / كاميليا يوسف محمد

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

تعد الطاقة بكافة صورها من أهم العوامل المؤثرة على الحياة الإنسانية وتطورها .ولقد أنعم الله سبحانه وتعالى على الإنسان منذ عهوده الأولى بالطاقة من مصادر عديدة وبصور مختلفة . واعتمدت البشرية على هذه المصادر للطاقة وطوعتها بما يخدم احتياجاتها وتطورها ورقيها . واختلفت على مر الأزمنة درجة الاعتماد على مصادر الطاقة المختلفة تبعا للاحتياجات الإنسانية وكذا المقدرة على تطويعها بما يخدم أغراض الاستخدام المختلفة . ولقد تطور استخدام الإنسان للطاقة حتى العهود الراهنة حيث تركز استخدامه لها بصورة رئيسية إما بشكل مباشر عن طريق حرق الأنواع المختلفة من الوقود أو بطريقة غير مباشرة عن طريق استخدامه للطاقة الكهربائية المولدة من حرق الوقود أو استخدام المصادر المائية أو الطاقة الشمسية أو الرياح . ولقد أظهرت الإحصائيات الأخيرة لجمهورية مصر العربية أن نسبة استخدام الطاقة تصل إلى تسعة وخمسين بالمائة عن طريق الاستخدام المباشر للوقود الأحفورى أما النسبة الباقية من استخدام الطاقة وتصل إلى واحد وأربعين بالمائة فتتم من خلال نظم التوليد والنقل والتوزيع الكهربائية . أما باقى تكنولوجيات استخدام الطاقة كالطاقة الشمسية والرياح والمد والجزر وطاقة الكتلة الحيوية فهى لا زالت فى مراحل أولية من حيث توفرها للاستخدام على مستوى منتشر فى مصر .

ويشتمل هذا الجزء الأول من الكتاب على عرض لعدد من الجوانب الهندسية المختلفة الخاصة بإدارة طلب الطاقة حيث نتعرف على تعريفات الطاقة ومنحنيات الأحمال والمبادئ الأساسية لآليات إدارة طلب الطاقة وبيان أهمية الدور الذى يقوم به المستخدم النهائى وتأثيره المباشر على درجة أداء الجهات التى تقوم بتوليد ونقل وتوزيع الطاقة الحرارية أو الكهربائية . كما يتم عرض استخدامات الطاقة الأولية فى غير إنتاج الكهرباء والتكنولوجيات المنظمة لها فى كل من الأفران ونظم الاسترجاع الحرارى ونظم الاحتراق ونظم البخار شاملا إنتاجه فى الغلايات وشبكات التوزيع ونظم التبريد والتكييف من خلال رؤية لاستخدامات الطاقة وسعة أداء المعدات .

ويقدم هذا الجزء من كتاب إدارة طلب الطاقة العديد من الأدوات المفيدة والتى تخدم العاملين فى مجال الطاقة من دارسين أو مصممين أو منفذين أو مشغلين . وتبرز من خلال هذا العمل أهمية التعاون المشترك ما بين الجهة المنتجة والموزعة للطاقة مع الجهات المستخدمة لها بما يؤدى إلى الاستخدام الأمثل للمعدات الاستثمارية المسئولة عن انتاج وتوزيع الطاقة . ويبرز من هذا الجزء من الكتاب التأثير الإيجابى والمباشر لمشاريع وبرامج إدارة طلب الطاقة على الاستثمارات المباشرة لمعدات إنتاج وتوزيع الطاقة ورفع الكفاءة المالية لاستخدامات الطاقة على مستوى المستخدم النهائى ورفع الكفاءة الاقتصادية على المستوى القومى .

ولقد شرفت بدعوتى للتعاون لإخراج هذا الكتاب إلى حيز الوجود وأرجو أن يكون جهدى المتواضع قد ساهم بعض الشئ فى هذا العمل بجانب الجهود الزاخرة والمتميزة لكاتبة هذا الكتاب ولشركة توزيع كهرباء الإسكندرية وقياداتها التى تقدم خدمة جليلة للعاملين فى مجالى الكهرباء والطاقة بتبنيها هذه السلسلة من الإصدارات العلمية والعملية والتى تفيد كافة العاملين والمهتمين فى هذا المجال .

والله الموفق

شعبان ١٤١٨ - ديسمبر ١٩٩٧

دكتور مهندس

محمد صلاح السبكى

كلية الهندسة - جامعة القاهرة

الباب الأول

ادارة طلب الطاقة

DSM

1-1 تاريخ ادارة طلب الطاقة

تخلقت وتولدت فكرة ادارة طلب الطاقة (Demand Side Management) (DSM) وتكاليف الطاقة بواسطة الصناعة الأمريكية وذلك عام 1973 وهو عام أزمة البترول . حيث حدث ارتفاع صارخ لأسعار البترول ، وأصبح المسئولين عن الطاقة أكثر ادراكا ووعيا لأهمية عمل برامج لترشيد استخدام الطاقة والتفكير فى كيفية الحد من الاستهلاك الزائد للطاقة وأيضا الحد من غلو الوقود . .

وأخذت شركات توزيع الكهرباء فى أمريكا الأمر على عاتقها وفكرت فى بدائل للبترول وأصبح تعبير طلب الطاقة (DSM) هو العنوان الساخن لشركات التوزيع الأمريكية . والتى أخذت تنشر التعريف لبرنامج DSM ...

وبدأت بتعريفات شائعة منها :

* عزيزى المستهلك : أنت مدعو لترشيد أستخدام الطاقة ، ونحن مستعدون لمساعدتك

Customer, we want you to manage your demand, and we will help you

* يجب أن تتعلم كيفية ترشيد استخدام الطاقة التى نملكها

We must learn to conserve the energy sources that we have

* يجب أن تتعلم كيف تتحكم فى أستهلاك الطاقة دون هدم هيكل المجتمع الدولى

We must learn to control the consumption of energy without destroying the fabric of world society.

* تذكر ، عند التخطيط لترشيد استخدام الطاقة ، يجب أن نبحث عن الطاقة المتبددة

Remember,when you plan for energy conservation, you want to look for wasted energy .

*عندما لا تحتاج للكهرباء ، افصلها

When you don't need it , turn it off .

1-2 تعريفات ادارة طلب الطاقة Definitions of DSM

فيما يلى بعض تعريفات ادارة طلب الطاقة :

1- ادارة طلب الطاقة هى التخطيط والتطبيق والتقييم لأنشطة شركات الخدمات المصممة لتشجيع وحث المستهلكين لتحسين نماذج استهلاكاتهم الكهربائية وذلك بالنسبة لكل من الزمن ومستوى القدرة والطاقة .

Demand - Side Management is the planning , implementation , and evaluation of utility activities designed to encourage customers to modify their consumption patterns ,both with respect to the timing and level of demand (kw) and energy (kwh).

2- ادارة طلب الطاقة هى تجميع برامج وتكنولوجيات لها غرض ادارة بروفيل الأحمال ونمو أحمال الشبكة. تحتوى هذه البرامج والتكنولوجيات على الطرق الآتية: ازاحة أو تغير شكل منحنى الحمل، تحسين الكفاءة، برامج حث المستهلك على الترشيد

DSM is a collection of programs and technologies that have the objective of managing power system load growth and load profiles . These programs and technologies include load shifting or shaping , efficiency improvements, customer incentive programs , and conservation.

3- ادارة طلب الطاقة هى : العمل أكثر بقدرة أقل .

DSM is doing more with less capacity .

4- ادارة طلب الطاقة هو التأثيرالحادث على القدرة أو علىعداد الاستهلاك، والذى يغير منحنى حمل مصدر التغذية ، ويعتبر حث مباشر أو غير مباشر من شركات التوزيع .

Actions taken on the demand or customer side of the electric meter , which change the utility's load shape and which are directly or indirectly stimulated by the utility .

5- ادارة طلب الطاقة هو التأثير الحادث على القدرة أوعلى عداد الاستهلاك ، والذى ينتج عنـه تقليل القـدرة المستخدمـة فـى بعض الدورات علىالأقل ، ويعتبـر حث مباشـر أو غير مباشرمن شركات التوزيع (يعرف هذا المعنى بالمعنى المحدد) .

Actions taken on the demand or customer side of the electric meter , which result in reductions in power usage in at least some periods and which are directly or indirectly by the stimulated by the utility (narrow definition) .

6- ادارة طلب الطاقة هى دراسة تأثير تغيير نمط استهلاك طلب الطاقة .

Deliberate actions to change the pattern of consumers 'demand (use) for energy .

1-3 الوقود فى العالم

شهد القرن العشرين تزايد هائل فى عدد السكان صاحبه تطور وتوسع ونمو مطرد فى الصناعة . فقد تزايد عدد السكان من 2 إلى 5.3 مليار خلال الفترة من 1930 إلى 1990- بينما تضاعفت الصناعة خمس مرات ما كانت عليه فى العقد 1950 . تطور الصناعة يعنى الاحتياج إلى طاقة كهربائية أكبر لذا تعدت الطاقة المطلوبة حاليا ثلاثة أضعاف احتياجات عام 1950

تدرجت مصادر الطاقة من الخشب إلى الفحم والقوة الكهربائية المائيه . ثم بدأ فى العقد 1860 أنتاج النفط – تبعه أكتشاف الغاز ثم لعبت الطاقة النووية دورا هاما فى دول كثيرة .

ويوضح شكل (1-1) تطور أنواع الوقود فى الفترة من 1900 إلى 1987، بوحدات طن الزيت المكافىء (equivalent tonnes of oil) والذى يرمز له بالرموز toe

توجد أنواع مختلفة من الوقود منها:

النفط (oil) ، الفحم (coal) ، الغاز (Gas) ، النووى(nuclear) ، المائى (hydro) ، مخلفات الحيوانات (biomass) ويستهلك منها العالم قيم مختلفة فمثلا يوضح شكل (2-1) أستهلاك الطاقة عالميا عام 1987 لأنواع الوقود المختلفة والتى تمثل أستهلاك كلى يساوى 9×10^9 toe/yr تحول حوالى % 30 من الطاقة الأساسية الأولية فى العالم إلى كهرباء (والتى تمثل 2350×10^6 toe من الوقود) – ويبين شكل (3-1) الطاقة الكهربائية المولدة فى العالم عام 1987 تبعا لنوع الوقود المستخدم ، ويكون مجموعها 10580×10^{12} Wh

يمثل النفط والغاز أهمية قصوى للعالم ، لذا تعرضت كثير من التقارير والأبحاث العالمية والدولية إلى المنصرف والاحتياطى المعلوم والمتوقع ، وفيما يلى توضيح لذلك ....

اكتشف النفط فى الولايات الأمريكية فى حوالى 1860 's ، وصاحب ذلك تطور سريع فى الصناعة ، كذلك اكتشف النفط فى بعض الأماكن مثل أذربيجان وإيران .....واستغل نفط الشرق الأوسط بتوسع نتيجة رخص ثمنه فى الفترة 1950's ، وتضاعف استهلاك النفط كل عشر سنوات فى الفترة 1970 - 1950

نظرا للأهمية القصوى للنفط حدث توتر عالمى ، وتشكلت منظمة "أوبك" (OEPC) فى عام 1960 للاعتناء بالدول المولدة للنفط حديثا وخاصة الموجودة فى الشرق الأوسط .

توالت الحروب فى الشرق الأوسط وصاحبها أزمة بترول فى السنوات 1956,1967 - 1973,1979 وامتازت أزمة عامى 1973,1979 فى ارتفاع أسعار البترول . لذا بدأ التفكير فى المصادر البديلة مثل الطاقة النووية ، كذلك استغلال الأراضى الجديدة المحتوية على البترول مثل بحر الشمال وألسكا بالولايات المتحدة الأمريكية . ثم حدث انخفاض فى أسعار البترول فى عام 1986 ومازال منخفض حتى عام 1994

تستورد الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من 45% من استهلاكها للنفط ، حيث تستورد النفط كل من أمريكا الشمالية وأوروبا الغربية وشرق وجنوب شرق أسيا وتعتبر روسيا أكثر الدول استخداما للنفط .

ولكن سوف يقل انتاج النفط فى كل من بحر الشمال وأمريكا الشمالية فى العقد 1990's ويتوقع حدوث زيادة فى انتاج الصين ، ولكن الزيادة الكبيرة جدا فى انتاج النفط ستكون فى الشرق الأوسط والتى يتوقع أن تكون 65% من الاحتياطى العالمى .

تم دراسة الأوضاع المستقبلية للنفط فى السوق الاوروبية المشتركة EC (The European Common Market) وكانت النتيجة : سيتزايد اعتماد العالم على نفط الشرق الأوسط ، وأن المتوقع من نفس المنطقة فى عام 2000 سيكون أكبر من مثيله قبل عام 1973 ويمثل حوالى 50% من الاستهلاك الكلى للعالم .

يوضح شكل (1-4) كمية النفط الاحتياطى المكتشف (proved recoverable reserves of oil) فى الشرق الأوسط - أمريكا اللاتينية - روسيا - شرق أوروبا - أفريقيا - أمريكا الشمالية - أوروبا الغربية - آسيا .

ويستعرض شكل (1-5) أكبر البلدان المحتوية على نفط احتياطى مكتشف والذى يوضح أن المملكة العربية السعودية هى أعظم هذه الدول بينما كندا هى أقلهم .

ويبين شكل (1-6) مقارنة بين النفط المستهلك والاحتياطى فى مناطق العالم المختلفة .

خلال السنوات القليلة الماضية تزايد المخزون الاحتياطى للغاز (Gas) عالميا . وأصبح حاليا أكثر من النفط . وتعتبر روسيا هى أكبر المصادر حيث تمثل 50% ، يليها الشرق

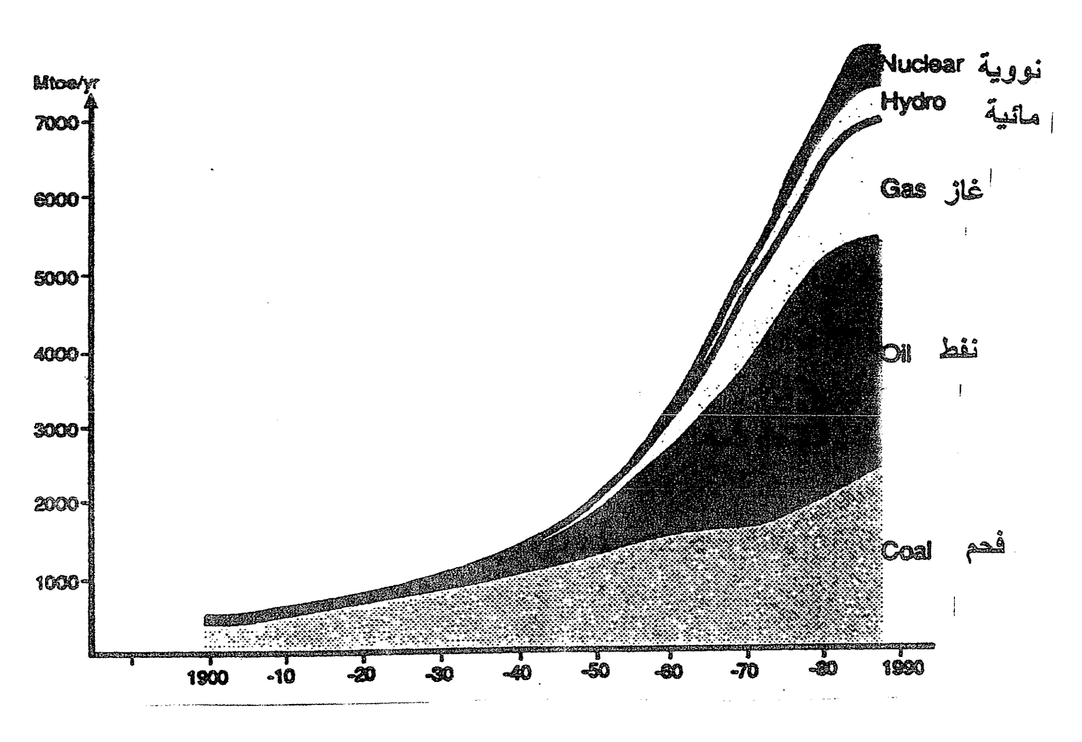
الأوسط ويمثل حوالى 40%

حاليا تنتج أمريكا الشمالية احتياجها من الغاز وتستورد دول غرب أوروبا حوالى 20%

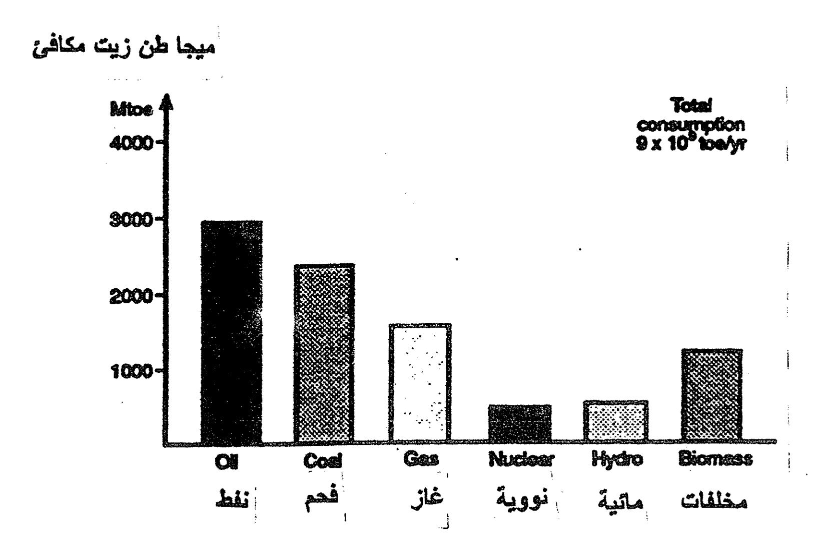
ويوضح شكل (7-1) المخزون الاحتياطى للغاز فى مناطق العالم المختلفة .

يبين جدول (1-1) وحدات الطاقة المختلفة ومقارنة بينها.

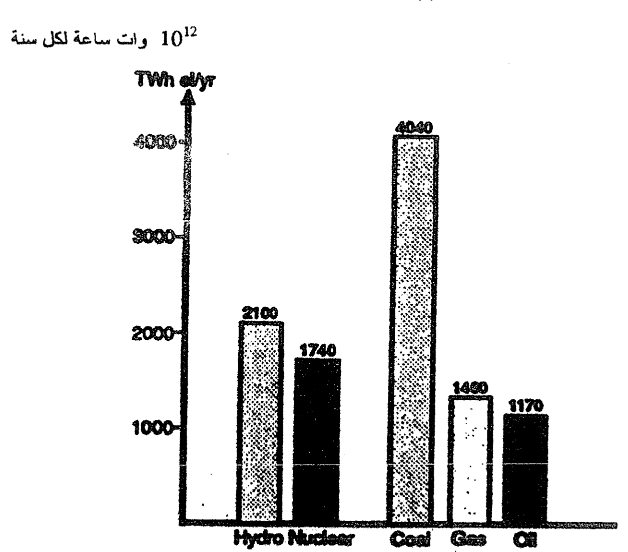
مما سبق يتضح أن أزمة البترول العربى بدأت فى عام 1973 - يلى ذلك تخليق وتوليد فكرة ادارة الاحمال والطاقة - والتفكير فى تكلفة الطاقة - وذلك عن طريق الصناعات الأمريكية وأصبح المستهلك والمنتج أكثر ادراكا ووعيا للأحمال والطاقة . ما هو الاستخدام الأمثل ؟ ... ماذا عن ترشيد الطاقة ؟ ... ماذا عن ادارة الأحمال ؟ ... وذلك للوصول إلى تحكم فى الحد من زيادة الاستهلاك ومنع ارتفاع الأسعار .



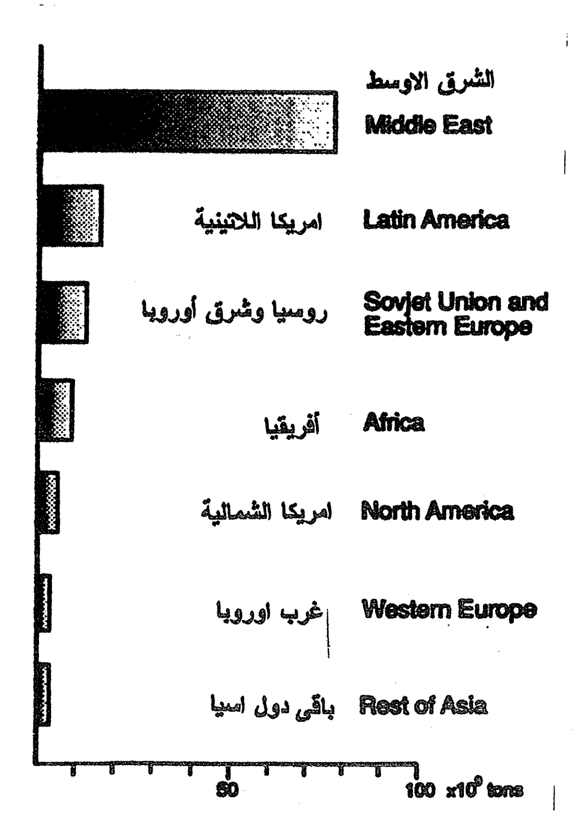
شكل (1-1) تطور أنواع الوقود فى الفترة من 1900 الى 1987



شكل (2-1) استهلاك الطاقة عالميا عام 1987 لانواع الوقودالمختلفة

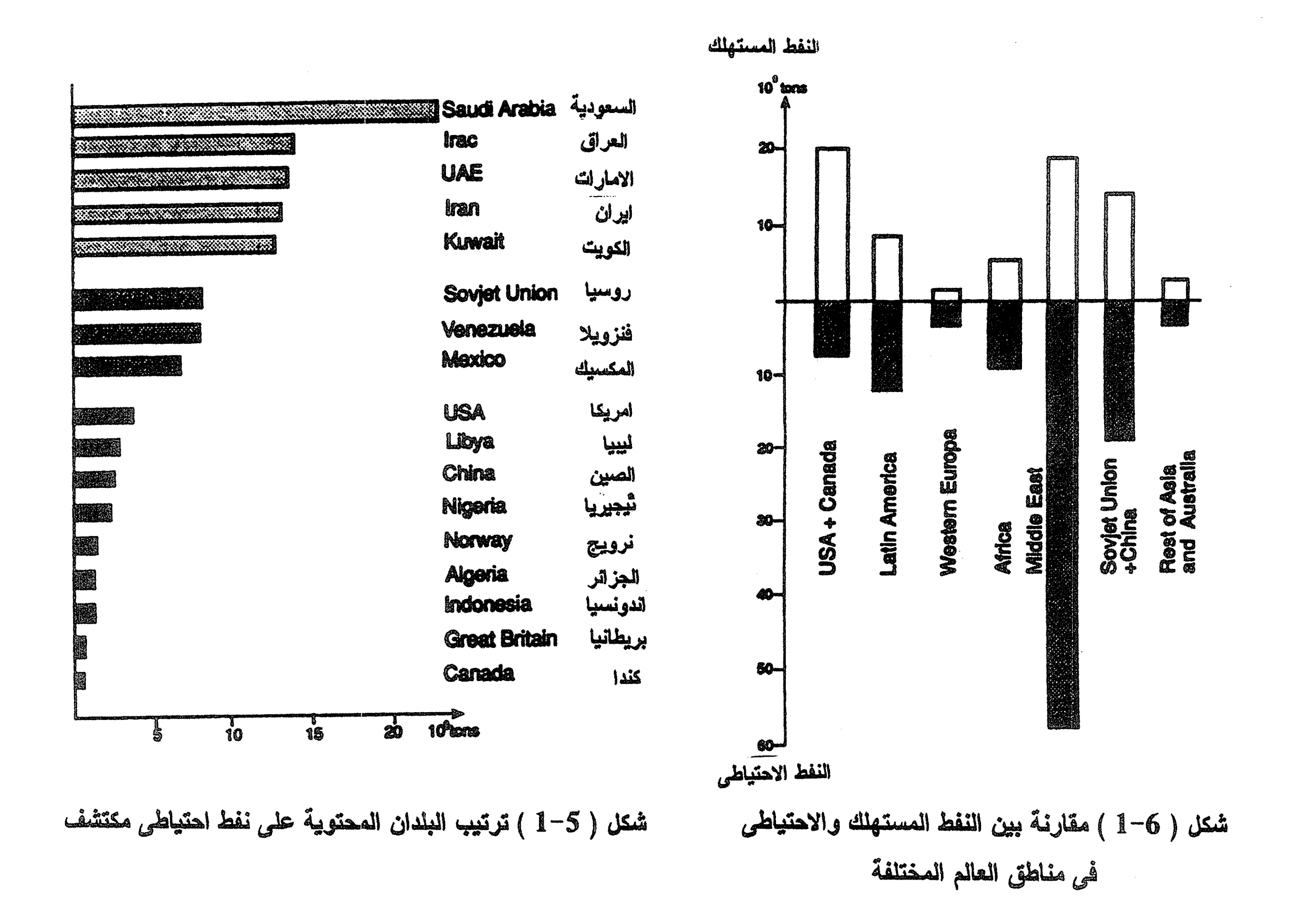


شكل (3-1) الطاقة الكهربائية المولدة فى العالم عام 1987 تبعا لنوع الوقود المستخدم



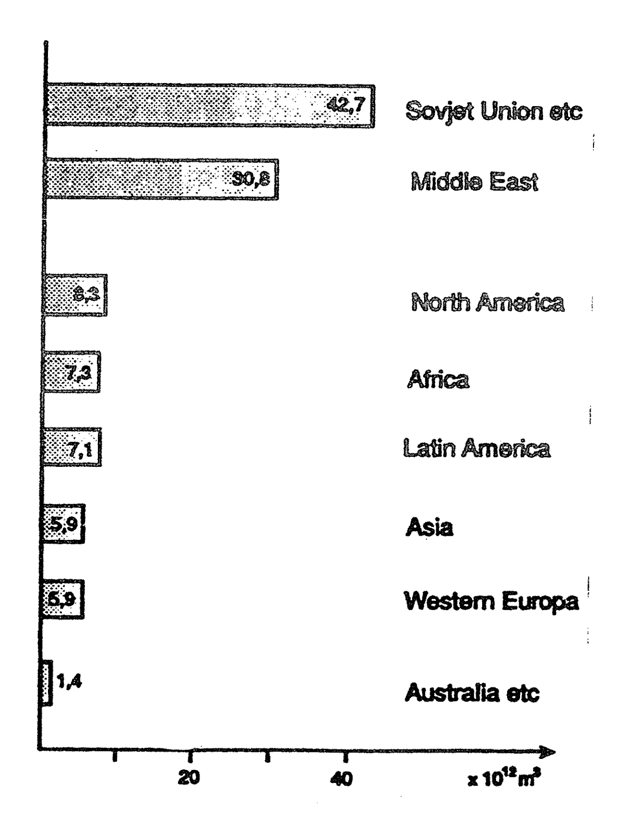
شكل (4-1) كمية النفط الاحتياطى المكتشف فى مناطق العالم المختلفة

(ادارة طلب الطاقة -١)



شكل (5-1) ترتيب البلدان المحتوية على نفط احتياطى مكتشف

شكل (6-1) مقارنة بين النفط المستهلك والاحتياطى فى مناطق العالم المختلفة



شكل (7-1) مخزون الغاز الاحتياطى فى مناطق العالم المختلفة

جدول (1-1) وحدات الطاقة المختلفة ومقارنة بينها

Energy units and comparison

Units (physical)

1 wattsecond (Ws) =1 joule = 1 newtonmeter (Nm)
1 kWh = 860 kilo calories (kcal)
1 British thermal unit (Btu) = 0.293 Wh = 1055 Ws
1 Q = 10^{18} Btu = 293 000 Twh
1 hours power (hp) = 736 watt (W)
1 ton equivalent oil (toe) = 10034 Mcal = 42103 MJ = 11700KWh(thermal)

WEC (conversion factors)

1000 kWh (electricity) = 9.36 GJ (primary energy)
gives 1 toe (thermal) = 4500 kWh (el)
gives thermal effeciency = 38.5 %
1 tonne of coal equivalent (tce) = 0.697 toe
1000 m^3 of natural gas = 0.857 toe

Oil units

1 barrel = 0.159 m^3 = 1/6.3 m^3 = approx 0.136 tonnes
1 barrel/day (bpd) (raw oil) = 58 m^3/year = 50 toe/year = 0.587 Twh/year

Prefixes

kilo	= 10^3	tera	= 10^{12}
maga (M)	= 10^6	pica	= 10^{15}
giga (G)	= 10^9		

Energy content of fuel

Black coal	1 tonne	= 7600 kWh (thermal)
Raw oil	1 tonne = 1.16 m^3	= 11740 kWh (thermal)
Gasoline	1 m^3	= 8700 kWh (thermal)
Light oil	1 m^3	= 9880 kWh (thermal)
Heavy oil	1 m^3	= 10800 kWh (thermal)
Wood(dry)	1 m^3	= 1240 kWh (thermal)
Peat	1 tonne	= 2200 kWh (thermal)
Natural gas	1 m^3	= 9300 kWh (thermal)

1 tonne of U (thermal reactor) = 45 000 000 kWh (el) = 10 000 toe (equiv.thermal)
1 tonne of uranium (breeder) = 225 000 000 kWh (el) = 500 000 toe (equiv.thermal)

البـاب الثـانى

طلب الطاقة للمستهلك

Customer Energy Demand

2-1 الطلب الكهربى Electricity Demand

لامكانية حدوث تآلف وتفاهم لمنحنى الحمل ، يجب معرفة العوامـل المؤثـرة فـى خصـائص الحمل ، وفيما يلى التعريفات والعوامل المؤثرة فى الحمل الكهربى :

1- الطلب (Demand)

طلب النظام أو المنشأة هو متوسط الحمل المطلوب، وعادة يكون بوحدات :
KW أو KA أو KVA أو KVAR لفترة زمنية مناسبة أو محددة . أى أن الطلـب هـو متوسط الحمل لفترة زمنية ولا يوجد شىء يسمى الطلب اللحظى (instantaneous demand)

2- متوسط الطلب (Average Demand)

متـوسط الطلب لمنشأة هـو متوسط القدرة المطلـوبة خـلال فتـرة زمنيـة محـددة ، يـوم أو شهر أو سنة والتى تعطى متوسط القدرة اليومى أو الشهرى أو السنوى .
ويخضع متوسط القدرة للعلاقة الآتية :

$$\text{Average power} = \frac{\text{kwh consumed in the period}}{\text{hours in the period}}$$

أى أن متوسط القدرة هـواستهلاك الطاقـة (kwh) خلال فترة مقسـوما علىعدد سـاعات هذه الفتـرة .

3- أقصى طلب (Maximum Demand)

أقصى طلب لمنشأة هو أكبر كل الطلبات الحادثة خلال فترة معطاة ، يمكن أن تكون يوم أو شهر أو سنـة . ويكـون معلوما أنـه ليس أكبر طلب لحظـى ولكن أكبر متوسط طلب قدرة

يحدث خلال أى فترة زمنية صغيرة مثلا دقيقة واحدة، 15 دقيقة، 30 دقيقة من الدورة فى شكل (1-2) منحنى حمل لفترة 5 ساعات . لتحديد أقصى طلب لهذا المنحنى يجب تحديد الفترة المراد حساب أقصى طلب فيها . فمثلا أقصى طلب خلال 30 دقيقة للفترة AB أو من الساعة 8:30 P.M إلى الساعة 9:00 P.M يكون 288 kw
وقد حسب كالآتى :
أخذت 5 قراءات للحمل (kw) فى الفترة AB وهى 255,285,280,290,330 kw ثم حسب متوسطها ..

$$\frac{255+285+280+290+330}{5} = 288\text{kw}$$

يمكن الحصول على متوسط أقصى طلب أكثر دقة كلما زادت عدد النقاط المأخوذة فى الفترة الزمنية المحددة. من نفس الشكل يمكن تحديد أقصى طلب خلال 15 دقيقة للفترة MN والذى يساوى 342 Kw

نلاحظ الآتى من منحنى الحمل الموضح فى شكل (1-2) خلال فترة 5 ساعات :

- يوجد أكثر من موضع لأقصى طلب .
- يوجد أكثر من قيمة لأقصى طلب اعتمادا على تحديد الفترة الزمنية .
- أقصى طلب خلال 30 دقيقة أقل من أقصى طلب خلال 15 دقيقة .

كذلك يوضح شكل (2-2) منحنى تغيير الحمل اليومى (منحنى الحمل) بوحدات كسرية p.u (per unit) بالنسبة لحمل الذروة . ونجد من المنحنى أن :

- أقصى طلب لفترة 15 دقيقة يساوى 0.94 p.u
- أقصى طلب لفترة 60 دقيقة يساوى 0.884 p.u
- متوسط الطلب اليومى للنظام يساوى 0.254 p.u

من المثالين السابقين يتضح أهمية تحديد فترة الطلب (Demand interval) . وهى الدورة أو الفترة المطلوب حساب متوسط الطلب (الحمل) لها . ويمكن اختيارها 15 أو 30 أو 60 دقيقة أو أكثر (والتى يمكن أن تصل إلى ساعات يوم كامل) . كذلك يجب تحديد الطريقة التى يتم بها حساب أقصى متوسط هل متوسط قراءات أو مساحة تحت المنحنى أو استخدام برنامج كمبيوتر ؟

مما سبق يتضح أنه من الضرورى معرفة النقاط الآتية لتحديد أقصى طلب :

أ- تحديد دورة الحمل تحت الدراسة .

ب- تحديد فترة أقصى طلب مطلوب حسابه (مثلا 15 دقيقة أو 30 دقيقة) .

جـ- الطريقة المستخدمة لحساب متوسط الطلب خلال فترة زمنية .

لماذا تكون قيمة أقصى طلب خلال فترة زمنية مطلوبة وأكثر إفادة من قيمة أقصى طلب لحظى ؟

يستخدم أقصى طلب محسوب لتقدير السعة ، وبالتالى التكلفة المطلوبة لتغذية شبكة أو جزء من شبكة أو منشأة .... وذلك لخدمة أحمال معينة ومحددة .

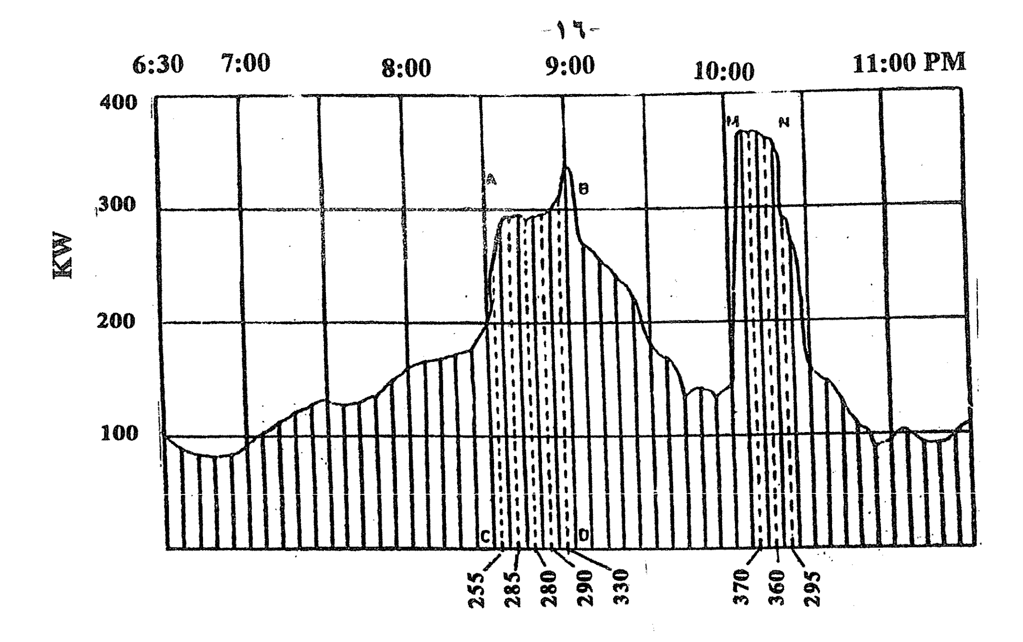
من الأسباب الرئيسية الهامة لاستخدام قيم أقصى طلب ، أن أغلب المعدات والأجهزة الكهربائية تصمم بحيث تتحمل من 100 % إلى 120 % زيادة حمل لفترة محدودة بدون حدوث أية أثار جانبية عكسية دائمة .

يبين شكل (3-2) منحنى حمل قدرة (kw) مولد ، ما هو مقنن هذا المولد والذى يغذى هذا الحمل . يلاحظ من الشكل أن :

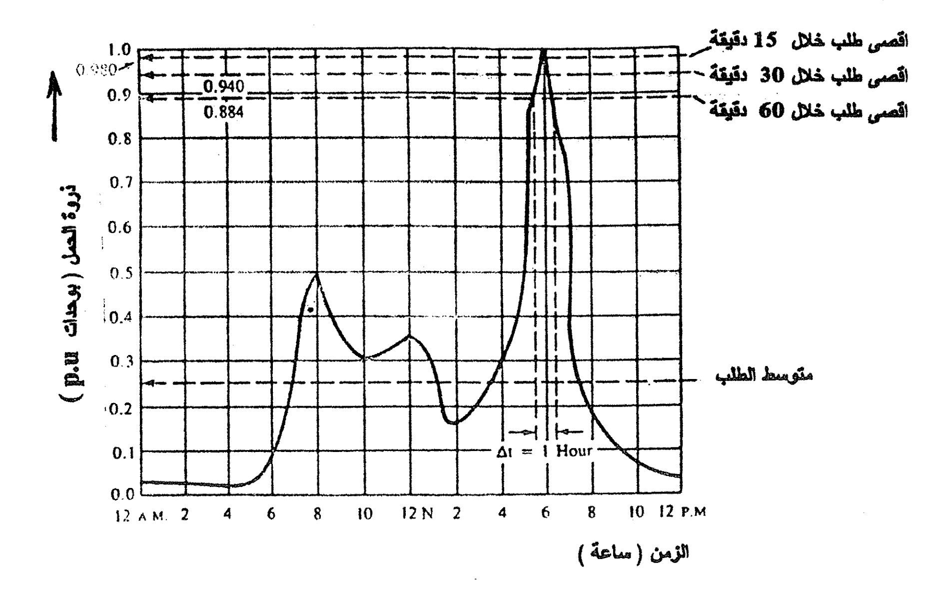
- ذروة الحمل (لفترة زمنية صغيرة جدا) عند النقاط A, B, C, D هى 250, 330, 230, 260 kw على التوالى .
- ذروة الحمل خلال الفترة EF (حوالى 30 دقيقة) هى 210 kw

وعلى ذلك ، فى هذه الحالة الخاصة ، فان سعة المولد المطلوبة على أساس طلب أساسى لفترة زمنية 30 دقيقة ، هى 210 kw

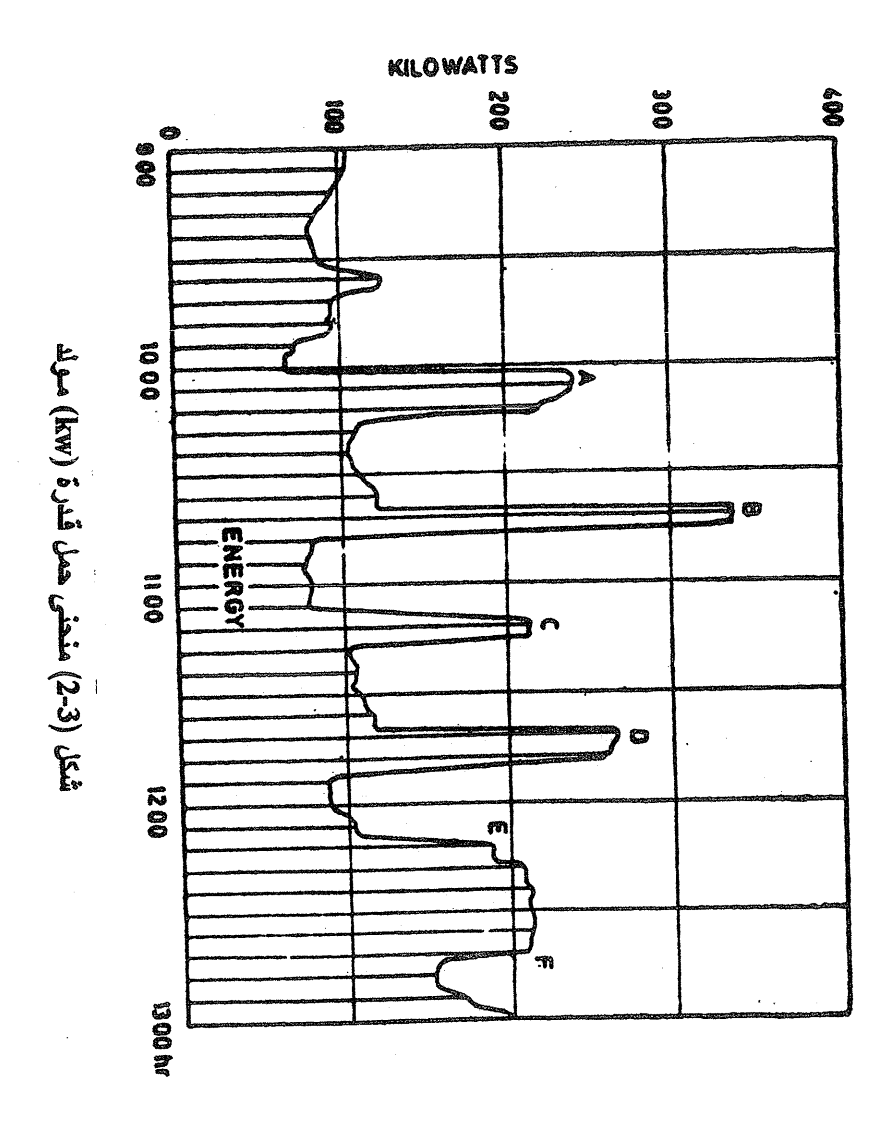
عموما يعتمد أختيار الفترة الزمنية لأقصى طلب على خصائص الحمل وعلى سياسة الشركة أو المنشأة الذى تم قياس الحمل لها .



شكل (1-2) منحنى حمل لفترة زمنية 5 ساعات



شكل (2-2) منحنى حمل يومى



شكل (2-3) منحنى حمل قدرة (kw) مولد

طريقة "صيغة فلاندر" (Velander Formula) لحساب أقصى طلب

لتخطيط وتشغيل شبكات التوزيع ، يلزم معرفة طلب قدرة المستهلكين وتنوع أحمالهم فى الشبكة . من الطرق الرياضية المستخدمة لحساب أقصى طلب قدرة (kw) بمعرفة استهلاك الطاقة السنوى "طريقة فلاندر"والتى تعرف كالآتى :

$$p = C_1 w + C_2 \sqrt{w} \quad ....(2-1)$$

حيث : p = أقصى طلب قدرة (kw) [أو ذروة الحمل]

w = استهلاك الطاقة السنوى (kwh)

C_1 ،C_2 = ثوابت تعتمد على تصنيف المستهلك

تمتاز هذه المعادلة بأنها تعطى العلاقة بين أقصى طلب قدرة واستهلاك الطاقة لاحمال جزئية ولا تتحقق هذه المعادلة عند استخدامها لمجموعة أحمال غير متجانسة ، أى أنها غير مناسبة لطبيعة أحمال مختلفة على مدى اليوم أو السنة .

باستخدام قيم للثوابت C_2 ، C_1 على أساس الخبرة فان "معادلة فلاندر" تعطى دقة مقبولة للشبكات ذات الأحمال المتجانسة (مثلا تصنيف مستهلك واحد أو تصنيف مجموعة مستهلكين لهم نفس الخصائص).

فيم يلى أمثلة لقيم C_2 ، C_1 المستخدمة فى دولة السويد .

(هذه القيم تكيفت لأقصى حمل سنوى لمدة ساعة واحدة)

التصنيف	C_1	C_2
المنازل التى لا تستخدم سخانات كهربائية	0.00033	0.050
الشقق المستخدمة سخانات كهربائية	0.00028	0.025
المنازل غير الشاغرة	0.00027	0.030
المـــزارع	0.00015	0.099
المصـانـع	0.00022	0.160
الخدمات العامة والتجارية	0.00015	0.080

تكون درجة دقة نتائج معادلة "فلاندر" سيئة عند حساب أقصى طلب لمستهلك واحد أو لمجموعة تتكون من عدد قليل من المستهلكين . كذلك من عيوب هذه الطريقة أنها تحسب أقصى طلب بصرف النظر عن زمن حدوثه .

4- عامل الطلب (Demand Factor)

هوالنسبة بين أقصى طلب فعلى لحمل إلى قدرة الأحمال الموصلة (أجهزة ومعدات) أى أن:

$$\text{Demand Factor} = \frac{\text{Maximum demand}}{\text{Connected load}}$$

ويكون الغرض من معرفة عامل الطلب هو تقدير حصة الحمل الكلى الموصل ، والمطلوب تغذيتة فى نفس الوقت .

عادة يكون أقصى حمل (KW or KVA) لمجموعة من الأحمال (معدات كهربائية مثلا) أقل من مجموع قدرات (سعات) (KW or KVA) هذه الأحمال ، وهذا يرجع إلى :

- إختيار سعة المعدات الكهربائية أكبرمن المطلوب الفعلى وذلك للتغلب على بعض حالات زيادة الحمل .
- ندرة عمل مجموعة من المعدات فى نفس الوقت عند أقصى حمل لها .

وبمعرفة كل من أقصى طلب والحمل الموصل يمكن حساب عامل الطلب . مع ملاحظة أن الحمل الموصل هو مجموع مقننات مجموعة من الأحمال (مأخوذا من لوحة بيان كل جهاز أو معده .....) وعادة يكون عامل الطلب أقل من الواحد الصحيح .

مثـال (2-1)

منزل يحتوى على المصابيح الآتية :

$$(3\text{Lamps} \times 60\text{W}),(10\text{Lamps} \times 40\text{W}),(4\text{Lamps} \times 100\text{W}),(5\text{Lamps} \times 10\text{W})$$

بفرض أن عداد الطلب يشير خلال 30 دقيقة لقيمة أقصى طلب 650 W

يمكن حساب عامل الطلب لإضاءة المنزل كالآتى :

الحمل الموصل $= (3 \times 60) + (10 \times 40) + (4 \times 100) + (5 \times 10) = 1030\text{W}$

أقصى طلب خلال 30 دقيقة = 650 W

عامل الطلب $= \frac{650}{1030} = 0.631 = 63.1\ \%$

5- عامل الحمل (Load Factor)

والذى يرمز له بالرموز LF ، هو النسبة بين متوسط الحمل إلى أقصى حمل خلال فترة زمنية محددة ، ويمكن حسابه تبعا للمعادلة الآتية :

$$\text{عامل الحمل} = \frac{\text{الطاقة الفعلية المستهلكة (KWh)}}{\text{أقصى طلب (KW)} \times \text{الفترة الزمنية (Hr)}}$$

يمكن أن يتغير عامل الحمل للمستهلك من قيمة منخفضة(مثلا 5%) إلى قيمة مرتفعة(مثلا % 80) ولكن عادة تكون الحدود من 10% (فى حالة أحمال الأضاءة فقط) إلى 10% (فى حالة أحمال صناعية أو أحمال تسخين) . بعض المصانع التى تعمل على مدى 24 ساعة يمكن الحصول على عامل حمل مرتفع جدا .

يخضع عامل الحمل السنوى لمحطات التوليد للمعادلة التالية :

$$\text{عامل الحمل السنوى} = \frac{\text{No. of units actually supplied / year}}{\text{Max. possible No. of units that can be supplied}}$$

ويجب ملاحظة أنه ليس مقصودا بأقصى طلب قيمة أقصى سعة منشأة لمكونات المحطة .

$$\text{عامل الحمل السنوى} = \frac{\text{No. of units actually supplied / year}}{\text{Max. power demand} \times 8760}$$

$$\text{عامل الحمل الشهرى} = \frac{\text{No. of units actually supplied / month}}{\text{Max. power demand} \times 24 \times 30}$$

بينما يخضع عامل الحمل لمعدات المستهلك للمعادلة الآتية :

$$\text{عامل الحمل السنوى} = \frac{\text{No. of units consumed / year}}{\text{Max. demand} \times 8760}$$

$$\text{عامل الحمل الشهرى} = \frac{\text{No. of units consumed / month}}{\text{Max. demand} \times 24 \times 30}$$

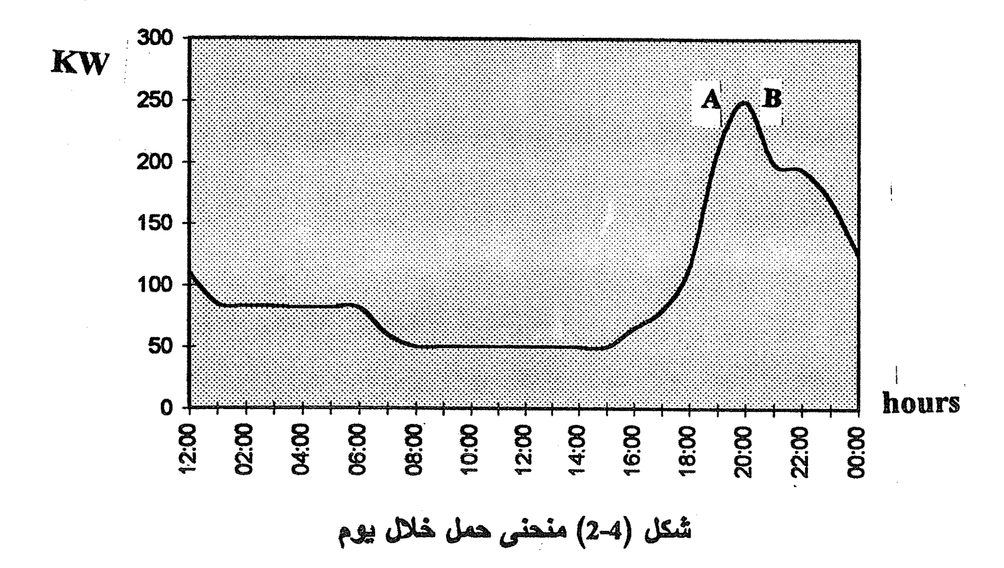
$$\text{عامل الحمل اليومى} = \frac{\text{No. of units consumed / day}}{\text{Max. demand} \times 24}$$

عموما عامل الحمل يساوى النسبة بين متوسط القدرة إلى أقصى طلب فى سنة أو شهر أو يوم.

مثـــال (2-2)

يوضح شكل (4-2) منحنى حمل خلال يوم – ويلزم حساب عامل الحمل اليومى .
لحساب متوسط القدرة خـلال 24 ساعـة، تؤخذ قراءة القـدرة المقابلـة لكل ساعـة ويقسـم مجموعهـا علـى عدد 24 ساعـة فنحصل علـى متوسـط قدرة يسـاوى 97.5 kw ثـم نحسب أقصى طلب خلال 30 دقيقة فى الفترة AB علىالمنحنى يساوى 270 kw ، وعلى ذلك فإن:

$$\text{عامل الحمل اليومى} = \frac{97.5}{270} \times 100 = 36.1\ \%$$



شكل (4-2) منحنى حمل خلال يوم

6- عامل التواقت (Simultaneity Factor)

أو عامل التطابق (Coincidence Factor) والذى يرمز له بالرموز CF
لعمل تصميم صحيح لشبكة التوزيع يكون من الضرورى معرفة قيمة أقصى قدرة منقولة فى كل فروع الشبكة . تتغير هذه القيمة تبعا لسعة وزمن كل حمل. وحيث أن أقصى حمل لأى فرع ليس بالضرورة حدوثه فى نفس لحظة حدوث أقصى حمل للفروع الأخرى أو بعضها ، لذا عادة يكون أقصى حمل كلى (Total maximum load) لمصدر تغذية أقل من مجموع قيم أقصى حمل لجميع الاحمال الفردية المغذاه من هذا المصدر (والتى ليست بالضرورة حدوثها فى نفس الوقت) . مهم جدا أن يؤخذ فى الاعتبار هذا التنوع أو التباين عند تصميم الشبكات . والسبب أن الاحمال المختلفة تكون أقل أو أكثر تزامنا أو توقيتا . وعلى ذلك يقيس عامل التواقت تنوع الحمل (Load Diversity) ويعرف عامل التواقت كالآتى :

$$CF = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n} p_i}$$

حيث :

P = أقصى حمل كلى (total maximum load)

p_i = أقصى حمل للجزء i

كذلك يعرف عامل التواقت بانه مقلوب عامل التباين (Diversity Factor)

$$CF = \frac{1}{\text{Diversity Factor}}$$

ويكون عامل التواقت أقل من الواحد الصحيح أو يساوى واحد عندما تكون جميع الأحمال القصوى للأجزاء متواقتة أو متزامنة .

عند المحطات الفرعية ، يتراوح عامل التواقت فى أغلب الحالات بين 0.5 و 0.7 والذى يعتمد على تصنيف المستهلكين فى الشبكة .

7- عامل التباين (Diversity Factor)

والذى يرمز له بالرموز DF ،

هوالنسبة بين مجموع أقصى طلب منفرد لكل حمل منفرد إلى الطلب الاقصى لمجموعة أحمال النظام (جزء الشبكة تحت الدراسة) . أى أن :

$$DF = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i}{P}$$

حيث : $\sum p_i$ = مجموع أقصى طلب للمستهلكين (sum of consumer's maximum demand)

P = أقصى طلب للنظام (Maximum demand on the system)

أيضا يعرف عامل التباين تبعا للمعادلة الآتية :

$$DF = \frac{\text{System load factor}}{\text{Average consumer's load factor}}$$

أى هو النسبة بين عامل حمل النظام إلى متوسط عامل حمل المستهلك .

وكما ذكر سابقا ، فان عامل التباين يعرف أيضا بأنه مقلوب عامل التواقت أى أن :

$$DF = \frac{1}{CF}$$

ويكون عامل التباين أكبر من الواحد الصحيح أو يساوى الواحد عندما تكون جميع الطلبات القصوى متزامنة .

مثـــال (2-3)

فـى شكل (2-5) القيم المقاسـة على عـدادات أقصى طلب للأحمــال M_1 ، M_2...... ، M_6 هـى 620, 504, 435, 380, 160, 595 W علـى التوالـى، وأن عداد أقصى طلـب(علـى مصدر التغذية) سجل القيمة 900 W وذلك نتيجة أن الطلـب الأقصـى لكل حمـل لا يحـدث فـى نفس وقت الطلب الأقصى لباقى الأحمال ....

احسب عامل التباين ؟

الحـــل

$$\text{مجموع الطلب الأقصى للأحمال} = 2694\ W$$

$$\text{عـامـل التبـايـن} = \frac{2694\,W}{900\,W} = 2.99$$

يمكن حساب الطلب الفعلى (effective demand) المسحوب من المولد (أو الشبكة) للمستهلك كالآتى:

$$\text{الطلب الفعلى} = \frac{\text{الحمل الموصل} \times \text{عامل الطلب}}{\text{عامل التباين من المستهلك إلى المولد}}$$

ويكون عامل التباين من المستهلك إلى المولد هو حاصل ضرب عاملات التباين لكل مكون بين شبكة المستهلك إلى المولد ، فمثلا إذا كانت مكونات هذه الشبكة هى :

- مستهلكين (Consumers) ، وعامل التباين بين المستهلكين يساوى 2.6
- محولات (Transformers) ، وعامل التباين بين المحولات يساوى 1.32
- مغذيات (Feeders) ، وعامل التباين بين المغذيات يساوى 1.13
- محطات فرعية (Substation) ، وعامل التباين بين المحطات يساوى 1.1

فان عامل التباين من المستهلك وحتى المولد يساوى :

$$2.6 \times 1.32 \times 1.13 \times 1.1 = 4.266$$

من هذا العامل يمكن حساب الطلب الفعلى المطلوب لمستهلك من المولد .

8- عامل الوحدة الصناعية (Plant Factor)

أو عامل السعة (Capacity Factor) ، أو عامل النفع (Use Factor)

هو النسبة بين الطاقة الفعلية الكلية المنتجة أو المستخدمة لفترة زمنية مخصصة ، إلى أقصى طاقة مقننة للوحدة الصناعية والتى تعمل عندها بصفة مستمرة .

عامل الوحدة الصناعية = Plant Factor

$$= \frac{\text{actual energy produced or served} \times T}{\text{maximum plant rating} \times T}$$

ويمكن استخدام المعادلة لحالة التوليد كالآتى :

عامل الوحدة الصناعية السنوى = annual Plant Factor

$$= \frac{\text{actual annual generation}}{\text{maximum plant rating}}$$

$$= \frac{\text{actual annual energy generation}}{\text{maximum plant rating} \times 8760}$$

9- تنوع الحمل (Load Diversity)

والذى يرمز له بالرموز LD

هو الفرق بين مجموع ذروات (peak) عدد من الاحمال الفردية وبين ذروة الحمل المجمع أى أن :

$$LD = \left(\sum_{i=1}^{n} Di \right) - Dg$$

حيث : D_i = أقصى طلب للحمل i

D_g = أقصى طلب متطابق لمجموعة الأحمال n (أى أن $D_g = D_{1+2+......n}$)

10- عامل المشاركة (Contribution Factor)

هو مشاركة الاحمال الفرعية بالنسبة لمجموعة أقصى طلب

من تعريف عامل التواقت أو التطابق فان :

$$CF = \frac{P}{\sum Pi} = \frac{Dg}{\sum Di}$$

$$Dg = C_1D_1 + C_2D_2 + \cdots\cdots + C_nD_n$$

$$CF = \frac{\sum C_iD_i}{\sum D_i}$$

$$\text{or } C_i = \frac{\text{class demand at time of system(or group) peak}}{\text{class noncoincident maximum demand}}$$

11- عامل التشغيل (Duty Factor)

هو النسبة بين زمن الخدمة (التشغيل) الفعلى و الزمن الكلى الممكن لتوصيل مصدر تغذية على المعدات للدورة تحت الدراسة (ساعة - وردية - يوم ......)

(مع مراعاة أن زمن الخدمة هو زمن توصيل مصدر التغذية للمعدات المستعملة)

يوضح شكل (6-2) منحنى الحمل لقدرة فعالة ، زمن الخدمة هو مجموع الأزمنة $t_1 , t_2 , t_3 .... t_n$ والزمن الكلى هو زمن الخدمة مضافا إليه الزمن t_{off}

وعلى ذلك فان عامل التشغيل يساوى :

$$\text{عامل التشغيل} = \frac{\sum t_{service}}{t_{total}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 \cdots\cdots + t_n}{t_1 + t_2 + t_3 \cdots\cdots + t_n + t_{off}}$$

12- عامل الانتفاع (Utilization Factor)

والذى يرمز له بالرمز (u)

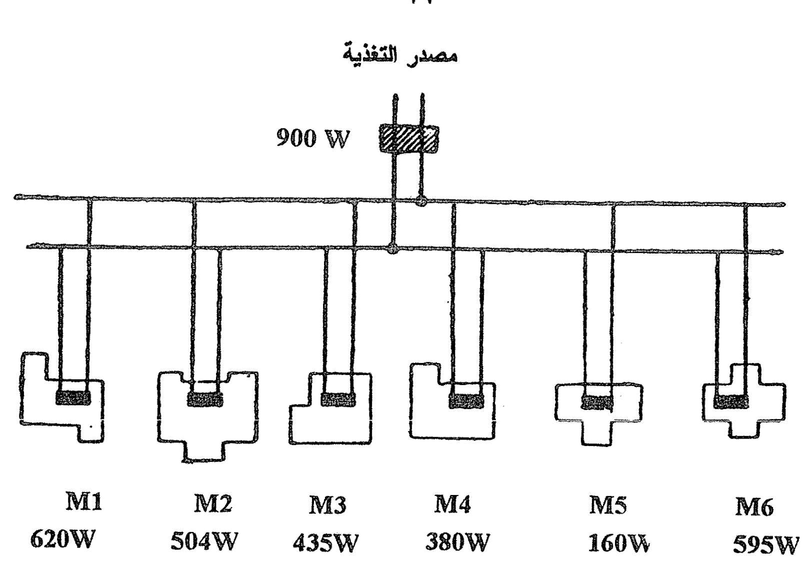
هو النسبة بين أقصى طلب للنظام إلى السعة المقننة للنظام . ويمكن أن يكون عامل الانتفاع لجزء من النظام أو المنشأة فقط .

أى أن :

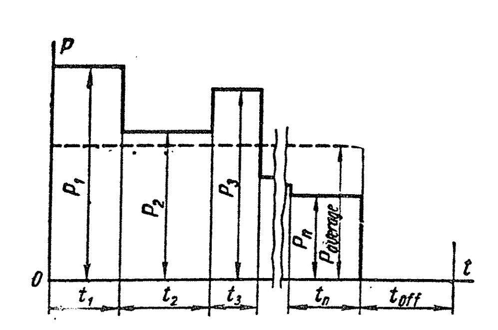
$$u = \frac{P_{average}}{P_{rated}}$$

or $$u = \frac{Q_{average}}{Q_{rated}}$$

or $$u = \frac{S_{average}}{S_{rated}}$$



شكل (5-2) مثال لقيم مقاسة بعدادات اقصى طلب



شكل (6-2) منحنى الحمل لقدرة فعالة (P)

من شكل (6-2) يمكن ايجاد عامل الانتفاع لدورة حمل بحساب الطاقة تحت المنحنى كالآتي

$$u = \frac{p_1 t_1 + p_2 t_2 + \cdots\cdots p_n t_n}{P_{rated}\,(t_1 + t_2 + \cdots\cdots t_n + t_{off})}$$

من الطرق الاخرى الشائعة للحصول على عامل الانتفاع ، استخدام منحنى دوام الحمل ، فاذا كان منحنى الحمل الكرونولوجي (Chronological load curve) - وهو منحنى الحمل الفعلي المرتب زمنيا - معروفا ، فيمكن تحويله بسهولة إلى منحنى دوام الحمل (Load duration curve) كما في شكل (7-2) حيث يتم تحويل منحنى الحمل الكرونولوجي إلى منحنى دوام الحمل خلال فترة زمنية t أختيارية ، والتي عادة تكون سنة واحدة أي 8760 hr ، فمثلا القيمة المتوسطة للحمل ($\overline{P}$) هي مجموع الجزئين a , b فيكلا المنحنيين .. وهكذا يتم التحويل مع ملاحظة أنه لا يمكن التحويل العكسي من منحنى دوام الحمل إلى منحنى الحمل الكرونولوجي .

عادة يستخدم منحنى دوام الحمل لأنه يعطي صورة جيدة لخصائص الحمل .

يمكن حساب الطاقة المستهلكة الفعلية خلال فترة زمنية t من حساب المساحة تحت منحنى دوام الحمل أي أن :

$$\text{الطاقة المستهلكة الفعلية} = W = \int_0^T p\,dt$$

ويمكن أيضا التعبير عنها من المعادلة $^0W = P.T$

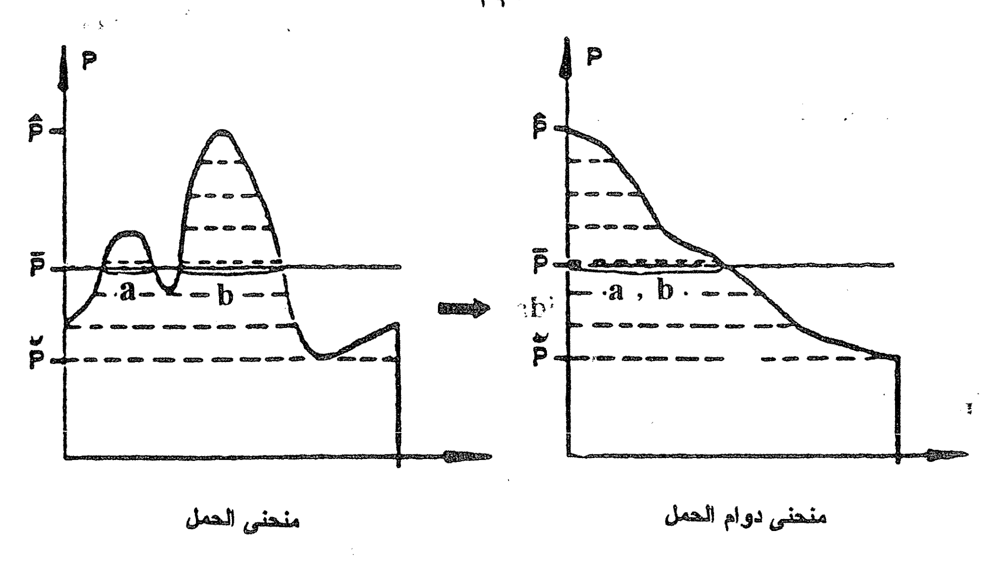
غالبا يفيد هذا عند عمل مقارنة بين حمل وأحمال أخرى . عند تعريف هذه المتغيرات :

$$y = \frac{p}{\hat{p}} \quad \& \quad x = \frac{t}{T} \quad \& \quad dx = \frac{dt}{dT}$$

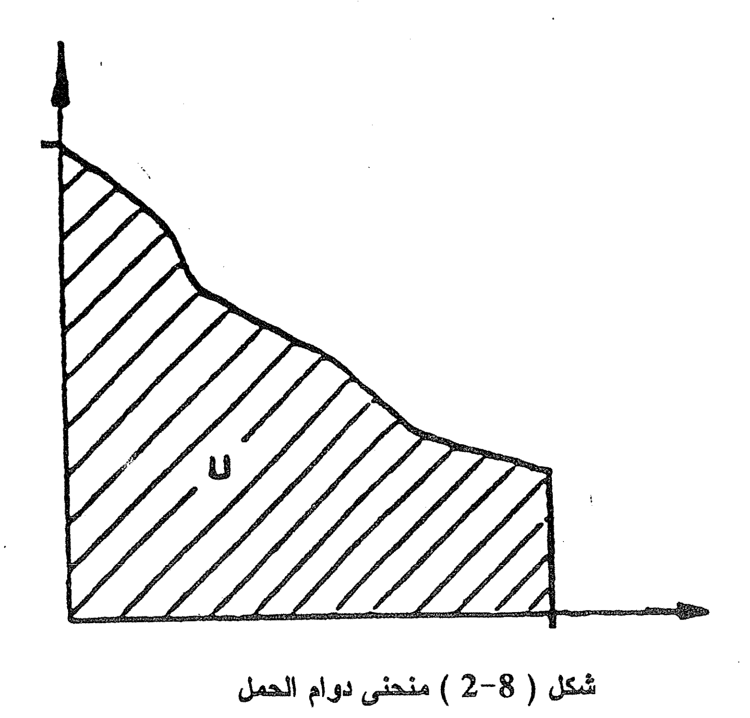
عندئذ يمكن الحصول على العلاقة

$$W = \hat{P}T\int_0^1 y\,dx$$

ويسمى y منحنى دوام الحمل السوى (normalized load duration curve) والموضح في شكل (8-2)



شكل (2-7) تحويل منحنى الحمل الى منحنى دوام الحمل



شكل (2-8) منحنى دوام الحمل

ويعرف عامل الانتفاع u تبعا للمعادلة :

$$u = \frac{\text{ح}}{T} = \frac{W}{T.\hat{P}} = \frac{\bar{P}}{\hat{P}} = \int_0^1 y dx$$

حيث ح : زمن الانتفاع (utilization time)

مثـــال (2-4)

يوضح شكل (2-9)أ شبكة كهربائية تغذى أحمال صناعية وأخرى سكنية ، ويوضح شكل (2-9)ب منحنى الحمل اليومى (KW) لهذين الحملين كذلك الحمل اليومى الكلى للنظام ، احسب :

أ- عامل التباين لاحمال المحول

ب- تنوع الحمل لاحمال المحول

جـ- عامل التطابق أو التواقت

الحـــل :

من الشكل (2-9)ب نجد أن

1- الاحمال الصناعية : ذروة الطلب 2000 kw عند الساعة 5 P.M

2- الاحمال السكنية : ذروة الطلب 2000 kw عند الساعة 9 P.M

3- للنظـــام : ذروة الطلب 3000 kw عند الساعة 6.5 P.M

أ- عامل التباين = مجموع أقصى طلب للمستهلكين / أقصى طلب للنظام

$$DF = \frac{2000 + 2000}{3000} = 1.33$$

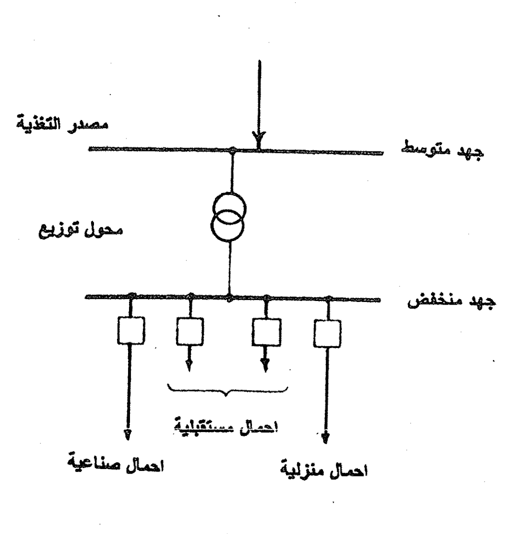
ب- تنوع الحمل = مجموع أقصى طلب للحمل الصناعي والسكنى - أقصى طلب للنظام

$$LD = \sum Di - Dg = 4000 - 3000 = 1000 \text{ KW}$$

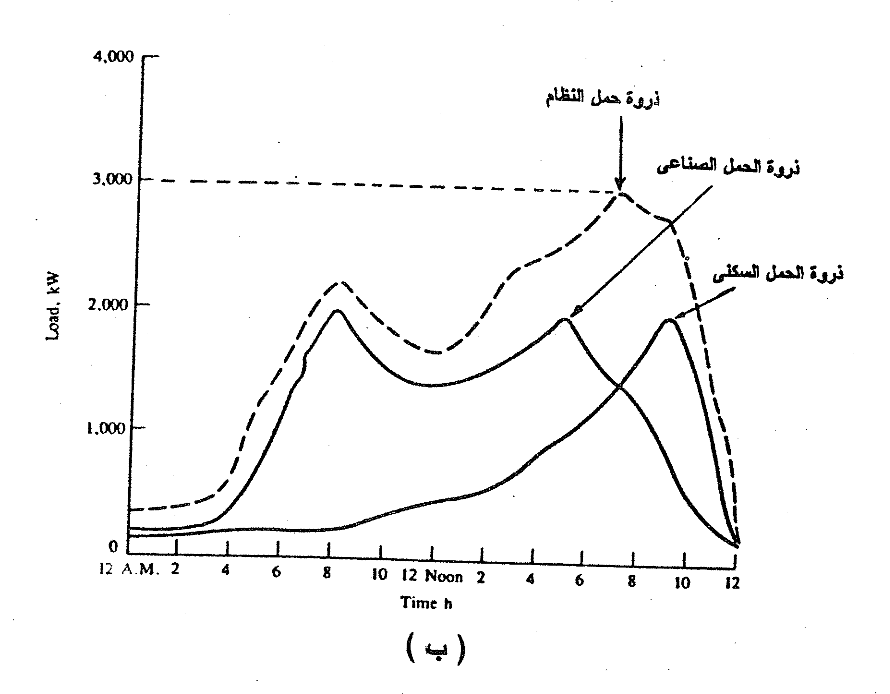
جـ- عامل التطابق أو التواقت

هو مقلوب عامل التباين

$$CF = \frac{1}{DF} = \frac{1}{1.33} \cong 0.752$$



(أ)



(ب)

شكل (9-2) منحنى الحمل اليومى للشبكة الموضحة فى شكل (أ)

13- معامل القدرة PF (Power Factor)

بصرف النظر عن طبيعة الجهد والتيار ، يمكن تعريف معامل القدرة بأنه النسبة بين القدرة الفعالة إلى القدرة الظاهرية ، أى أن

$$PF = \frac{KW}{KVA}$$

واذا كان كل من الجهد والتيار موجة جيبية (sinusoidal) فان :

$$PF = \frac{KW}{KVA} = \cos\Phi$$

حيث Φ زاوية الاختلاف بين موجتى الجهد والتيار

يكون معامل قدرة المحولات والمحركات (A.C) [ماعدا المحركات التزامنية ذات اثارة فوق المعدل والمحركات ذات المبدل] أقل من الواحد الصحيح . أغلب المحركات المستخدمة فى الصناعة هى المحركات التأثيرية (induction motors) والتى لها معامل قدرة مرتفع (حوالى 0.9) عند الحمل الكامل وينخفض معامل القدرة كلما قل الحمل ويكون مساويا 0.1 عند عدم الحمل [هذا راجع إلى أن الدائرة المكافئة للمحرك التأثيرى عبارة عن مقاومة وملف]

عيوب معامل القدرة المنخفض :

بفرض مصدر متزن ثلاثى الاوجه يغذى حمل W عند جهد V ومعامل قدرة PF . فان التيار المار يخضع للمعادلة :

$$I = W / \left(\sqrt{3} V \cos\Phi\right)$$

أى أن انخفاض معامل القدرة يؤدى إلى ارتفاع التيار ، وهذا يؤثر فى :

1- تتناسب مفقودات الخط مع مربع التيار (I^2)، والتى بدورها تتناسب مع $\left(\frac{1}{\cos^2\Phi}\right)$

فمثلا عند $\cos\Phi = 0.8$ تكون $\frac{1}{(0.8)^2} = 1.57$ ، معنى ذلك أن المفقودات عند $pf = 0.8$ تساوى 1.57 مرة من المفقودات عند معامل قدرة يساوى الوحدة .

2- تتناسب مقننات المولدات والمحولات مع التيار أى مع $(1/\cos\Phi)$ ، وعلى ذلك يكون مطلوب مولدات ومحولات ذات مقننات أكبر .

3- يسبب معامل القدرة المنخفض (ذى زاوية تأخير lagging) هبوط كبير فى الجهد (voltage drop) ، معنى ذلك الاحتياج إلى منظمات جهد لحفظ هبوط الجهد فى الحدود المسموحة .

يرتبط معامل القدرة الأقل من الواحد الصحيح ، بظهور الأحمال غير الفعالة (reactive loads) .

وعلى ذلك فان جميع الاحمال تنقسم إلى جزء فعال (active) وآخرغيرفعال (reactive).
ويجب الاهتمام بالجزء غير الفعال مثل اهتمامنا بالجزء الفعال . فمن المعروف أن أغلب مكونات الشبكات الكهربائية مثل : المحركات - المحولات - الخطوط الهوائية - الأفران الكهربائية ..... تحتاج إلى قدرة غير فعالة لتؤدى عملها . ونتيجة نقل القدرة غير الفعالة خلال الشبكات الكهربائية تزيد المفقودات فى الشبكة وتقل سعة الشبكة .

فى أغلب شبكات التوزيع ، تستهلك القدرة غير الفعالة كمفقودات فى الشبكة ، فى محولات الشبكة ومكونات المستهلكين ، وتكون أكثر المكونات استهلاكا للقدرة غير الفعالة هى الاحمال الصناعية .

يوضح جدول (1-2) مقارنة بين أحمال القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة لمستهلكين مختلفين .

مما سبق يتضح أهمية تسجيل الاحمال غير الفعالة ومعامل القدرة لأحمال المستهلكين .
يبين جدول (2-2) تلخيص تعريفات طلب الطاقة .

جدول (2-1) مقارنة بين أحمال القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة لمستهلكين مختلفين

التصنيف	زمن الانتفاع		التغيرات اليومية			التغيرات السنوية			
	Q	P	Q_{min} / P_{dh}	Q_{max} / P_{dh}	P_{min} / P_{dh}	$Q_{ml,min} / P_{ah}$	$Q_{mh,min} / P_{ah}$	$Q_{mh,max} / P_{ah}$	$P_{mh,min} / P_{ah}$
منزل Apartment house	7440	4360	0.27	0.32	0.40	0.26	0.34	0.37	0.53
منازل لعائلة فردية- تسخين بالكهرباء	6070	2690	0.04	0.07	0.78	0.03	0.06	0.08	0.15
مكاتب ودكاكين	4830	4100	0.17	0.36	0.35	0.14	0.38	0.47	0.81
صناعات صغيرة	3750	3090	0.11	0.29	0.52	0.07	0.33	0.40	0.54
صناعات كبيرة	3370	5200	0.08	0.28	0.56	0.02	0.09	0.32	0.60

حيث :

$P_{max} = P_{dh}$ = قيمة أقصى طلب قدرة فعالة خلال اليوم

P_{min} = قيمة أقل طلب قدرة فعالة خلال اليوم

Q_{max} = قيمة أقصى طلب قدرة غير فعالة خلال اليوم

Q_{min} = قيمة أقل طلب قدرة غيرفعالة خلال اليوم

$P_{ah} = P_{mh,max}$ = قيمة أقصى طلب قدرة فعالة خلال السنة

$P_{mh,min}$ = أقل قيمة لأقصى طلب قدرة فعالة شهرية خلال السنة

$Q_{mh,max}$ = أقصى قيمة لطلب القدرة غيرالفعالة الشهرى القصوى خلال سنة

$Q_{mh,min}$ = أقل قيمة لطلب القدرة غيرالفعالة الشهرى القصوى خلال سنة

$Q_{ml,min}$ = أقل قيمة لطلب القدرة غيرالفعالة الشهرى الأدنى خلال سنة

جدول (2-2) تلخيص تعريفات طلب الطاقة

التعريف	المعادلة	الوحدة	ملاحظات
متوسط الطلب Average demand	$\frac{\text{الطاقة المستهلكة } (KWh) \text{ فى فترة زمنية}}{\text{الفترة الزمنية } (h)}$	KW	
أقصى طلب Maximum demand	معادلة "فلاندر" $P = C_1 W + C_2 \sqrt{W}$	KW	P = أقصى طلب (KW) W = استهلاك الطاقة السنوى KWh C1 , C2 = ثوابت تعتمد على تصنيف المستهلك
عامل الطلب Demand Factor	$De.F = \frac{\text{أقصى طلب فعلى } (kw)}{\text{قدرة الأحمال الموصلة } (kw)}$	%	عادة تكون $De.F < 1$
عامل الحمل Load Factor	$LF = \frac{\text{الطاقة الفعلية المستهلكة } (kWh)}{\text{أقصى طلب } (kw) \times \text{ فترة زمنية } (h)}$	%	اعتمادا على الفترة الزمنية فانه يمكن حساب عامل الحمل اليومى أو الشهرى أو اسنوى
عامل التطابق Coincidence Factor	$CF = \frac{P}{\sum_{i=1}^{n} P_i}$	%	نطلق أيضا عليه عامل التواقت Simultaneity Factor حيث : P = أقصى حمل كلى Pi = قصى حمل لحمل الجزء i يكون $CF \leq 1$
عامل التباين Diversity Factor	$DF = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{P} = \frac{1}{CF}$	%	

تابع جدول (2-2) تلخيص تعريفات طلب الطاقة

التعريف	المعادلة	الوحدة	ملاحظات
عامل الوحدة الصناعية Plant Factor	$= \dfrac{\text{طاقة الفعلية الكلية المنتجة أو المستخدمة لفترة زمنية مخصصة}}{\text{طاقة مقننة للوحدة الصناعية والتى تعمل عندها بصفة مستمرة}}$	%	يطلق أيضا عليه عامل السعة Capacity Factor أو عامل النفع Use Factor
تنوع الحمل Load Diversity	$LD = \left(\sum_{i=1}^{n} D_i\right) - Dg$		حيث : D_i = أقصى طلب للحملi D_g = أقصى طلب متطابق لمجموعة الأحمال n $D_g = D_{1+2+......+n}$
عامل المشاركة Contribution Factor	$Ci = \dfrac{\text{class demand at time of system (or group) peak}}{\text{class noncoincident maximum demand}}$		
عامل التشغيل Duty Factor	$= \dfrac{t_1 + t_2 + t_3 \cdots\cdots t_n}{t_1 + t_2 + t_3 \cdots\cdots t_n + t_{off}}$		
عامل الانتفاع Utilization Factor	$U = \dfrac{\text{أقصى طلب للنظام}}{\text{السعة المقننة للنظام}}$		
معامل القدرة Power Factor	$PF = \dfrac{\text{القدرة الفعالة}}{\text{القدرة الظاهرية}}$		

(2-2) منحنيات الحمل Load Curves

خصائص الحمل (Load Characteristics)

يمتاز حمل كل مستهلك فى الشبكة الكهربائية بخصائص معينة ، أى أن الحمل يتغير بطريقة معينة على مدى اليوم وخلال السنة . وتعتمد التغيرات فى أحمال المشتركين على عوامل مختلفة تصنف كالآتى :

1- عوامل التقنيات الكهربائية Electro / technical factors

2- عوامل تعتمد على حالة العادات الفردية weather , climate

و أحيانا تصنف إلى :

1- عوامل مباشرة (Direct factors)

2- عوامل غير مباشرة (Indirect factors)

يوضح جدول (3-2) تصنيف للعوامل المؤثرة على تغيير حمل المستهلكين

تغييرات الحمل (Load variations)

تستخدم عوامل التقنيات الفنية ، الموضحة فى جدول (3-2) ، لتقسيم أحمال المستهلكين إلى أنواع مختلفة من الأحمال أو إلى تصنيف المستهلكين .

تكون خصائص كل تصنيف عبارة عن نمط حمل معين خلال يوم أو سنة .

من المهم جدا معرفة منحنيات نمط الحمل (Load pattern curves) لكل مستهلك ، والتى تستخدم لتصميم الشبكات وعمليات التشغيل ودراسة التعريفة .

تصنف منحنيات نمط الحمل (أو منحنيات الحمل) إلى :

أ - منحنيات نمط الحمل اليومى (Daily load pattern curves)

ب- منحنيات نمط الحمل السنوى (Yearly load pattern curves)

لحساب أحمال مفردة . ومتنوعة فإنه يلزم استخدام منحنيات نمط الحمل لتصنيفات مستهلكين مختلفين ، ثم تضاف المنحنيات معا للحصول على منحنى حمل متنوع . معنى ذلك أنه يلزم اجراء ثلاثة مراحل هى :

- قياس احمال مختلفة (أوعمل تمثيل لها simulation)
- تحليل الأحمال

جدول (3-2) تصنيف العوامل المؤثرة على تغيير حمل المستهلك

تصنيف العوامل	محتـــويـــاتها	من حيث : شركات التوزيع	تصنيف آخر
التصنيفات الكهربائية	١- نوع المبنى: شقة - منزل لعائلة واحدة مزرعة - محل - مصنع - خدمات تجارية	غالبا تكون معروفة لشركات التوزيع	عــوامــل مبــاشــرة
	٢- نوع تنظيم درجة الحرارة : تكييف- تسخين بالكهرباء		
	٣- نوع تسخين المياه : كهرباء - غاز- خشب - لا يوجد		
	٤- ادارة الأحمال		
	٥- التعـــريـــفة		
	٦- عمر المبنى		
	٧- الموقع الجغرافى		
	٨- الأجهزة الكهربائية الخاصة	من الصعوبة معرفتها لشركات التوزيع	
حالة الجو / المناخ	١- درجـــة الحـــرارة ٢- أشعــة الشمس ٣- ســرعــة الريـــاح	تكون هامـة فى حالـة استخدام المشترك للكهرباء فى التسخين والتبريد	عوامل غير مباشرة
العادات الفردية	١- حجـم العائلة ٢- ســاعـات العمـل	من الصعوبة جدا معرفتها - وفى حالة معرفتها فانها تعطى ظواهر حقيقية للأحمال	

- التنبؤ بقيمة طلب الحمل من نتائج التحليل (منحنيات نمط الحمل)
للحصول على منحنيات نمط الحمل لمستهلك معين أو لنوع حمل فإننا نحتاج منحنى حمل يومى لعدد من المستهلكين من نفس النوع . ويتم ذلك بالقياسات أو عن طريق عمل تمثيل لنوع الحمل .
وعند إجراء القياسات يجب مراعاة تسجيل عوامل البيئة المحيطة والتى يمكن أن تؤثر عند حساب الحمل العادى . عادة يختلف الحمل خلال اليوم وفى بعض الاحيان يختلف خلال الاسبوع والشهر والموسم والسنة . وعلى ذلك يسجل الحمل (الطلب) يوميا فى مجموعات تبعا لموسم العام ، نوع اليوم (يوم عمل - نهاية أسبوع - اجازة طارئة) واذا اعتمد الحمل على درجة الحرارة فيجب ذكر درجة الحرارة .
بعد ذلك يتم حساب منحنى الطلب المتوسط السوى (normalized average demand curve) ومنحنىالانحراف القياسى (standard deviation curve) لكل تصنيف مختلف . منحنيات نمط الحمل اليومى هذه ، يجب حسابها لكل موسم فى السنة مع تحديد اليوم وحدود درجات الحرارة .
اعتمادا على منحنيات نمط الحمل فإنه يمكن حساب متوسط الطلب اليومى (average daily demand) .
فيما يلى بعض أمثلة لأحمال مقاسة :
يوضح شكل (10-2) منحنى حمل يومى مقاس لأحمال مستهلك مفرد . عبارة عن أحمال مزرعة فى الصيف .
ويوضح شكل (11-2) مقارنة بين حمل يومى فى فصلى الصيف والشتاء .
ويبين شكل (12-2) منحنى حمل يومى للمشتركين A,B ذات طبيعة أحمال مختلفة .
بينما يبين شكل (13-2) منحنى حمل سنوى لمشتركين C,D ذات طبيعة أحمال مختلفة .
يوضح شكل (14-2) مثال لمواضع قياس الأحمال . فمثلا يوضح المنحنى A مجموع الأحمال فى الأفرع 1,2,3 بينما يوضح المنحنى C الأحمال فى الفرعين 2,3 ..
أمثلة لمنحنيات أحمال نموذجية لبعض الصناعات

١ - مصانع الورق وعجينة الورق (Pulp and paper mills)

يوضح شكل (15-2) منحنيات الحمل النموذجى اليومى للقدرة الفعالة P% والقدرة غير

الفعالة Q % كذلك منحنى دوام الحمل (Load duration curve) السنوى لكل من القدرة الفعالة والقدرة غيرالفعالة

2- مصانع النسيج (Textile mills)

يوضح شكل (16-2) منحنيات الحمل النموذجى اليومى ومنحنيات دوام الحمل السنوى لكل من القدرة الفعالة P% والقدرة غير الفعالة Q%

3- مصانع الحديد والصلب (Iron and Steel works)

يوضح شكل (17-2) منحنيات الحمل النموذجى اليومى ومنحنيات دوام الحمل السنوى لكل من القدرة الفعالة P% والقدرة غير الفعالة Q%

4- الأعمال الهندسية الثقيلة (Heavy engineering works)

يبين شكل (18-2) منحنيات الحمل النموذجى اليومى ومنحنيات دوام الحمل السنوى لكل من القدرة الفعالة P% والقدرة غير الفعالة Q%

5- أعمال قطع الغيار (Machine repair works)

يوضح شكل(19-2) منحنيات الحمل النموذجى اليومى ومنحنيات دوام الحمل السنوى لكل من القدرة الفعالة P% والقدرة غير الفعالة Q%

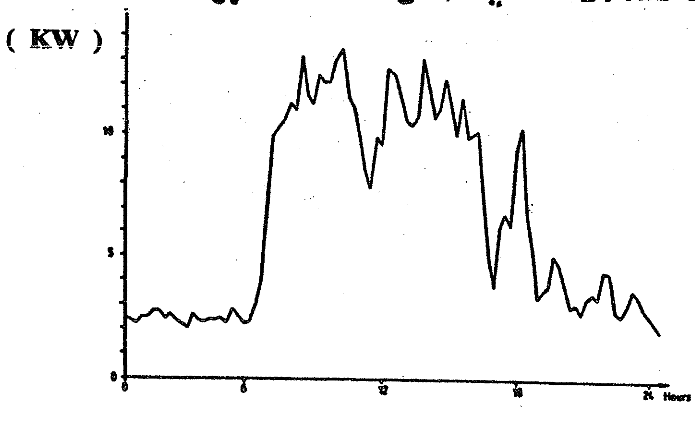
ويبين الشكل الفترة T_a وهى زمن التشغيل عند أقصى حمل فعال ، والفترة T_r هى زمن التشغيل عند أقصى حمل غير فعال (بالساعة)

مثال لمنحنى حمل نموذجى لمجتمعات الضواحى الكبيرة

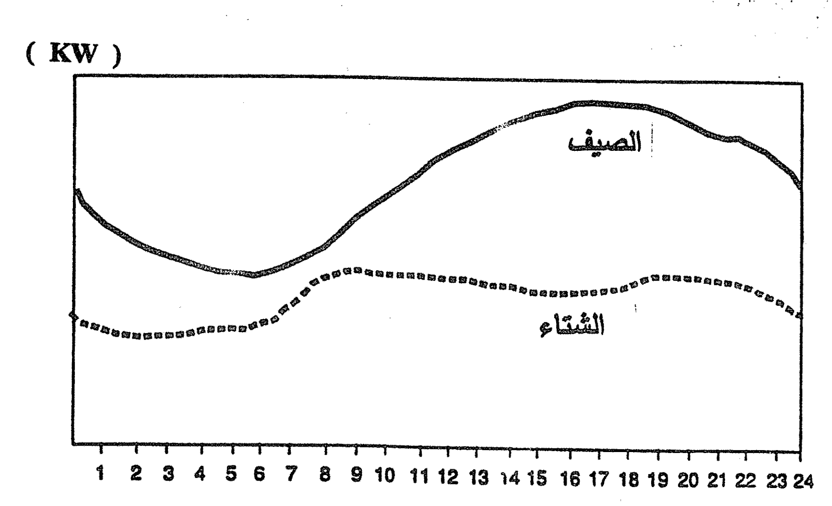
يوضح شكل(20-2) المنحنيات المختلفة للقدرة الفعالة وغيرالفعالة ليوم فى فصل الصيف وآخر فى فصل الشتاء لمجتمع ضواحى كبيرة . كذلك يوضح منحنيات دوام الحمل الفعال وغير الفعال السنوى .

أمثلة لمنحنيات أحمال فعلية لبعض الصناعات :

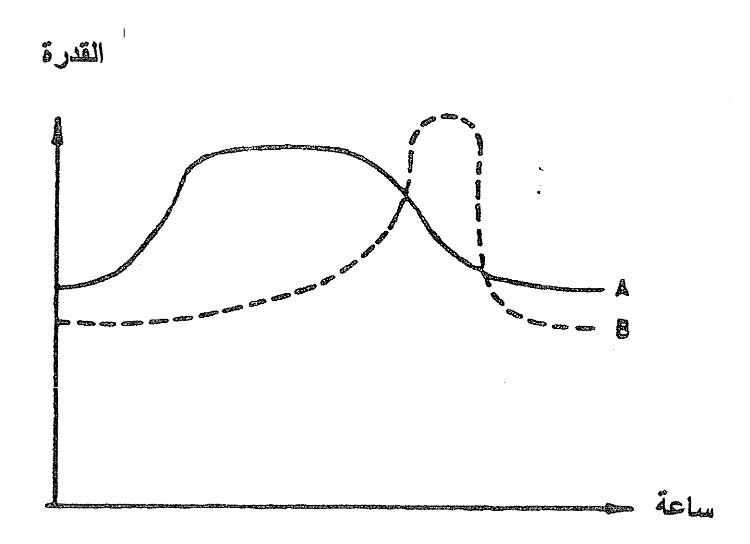
توضح الأشكال أرقام (21-2) وحتى (32-2) منحنيات حمل يومى لمصانع :
أدوية - أخشاب - منتجات ورقية - نسيج - أغذية
ويوضح شكل (33-2) منحنيات حمل مشتركين صناعى وسكنى
بينما يوضح شكل (34-2) منحنيات حمل لأحمال مبنى ادارى
وهذه الأحمال مسجلة لمدة 24 ساعة إبتداءا من الساعة 12 ظهرا



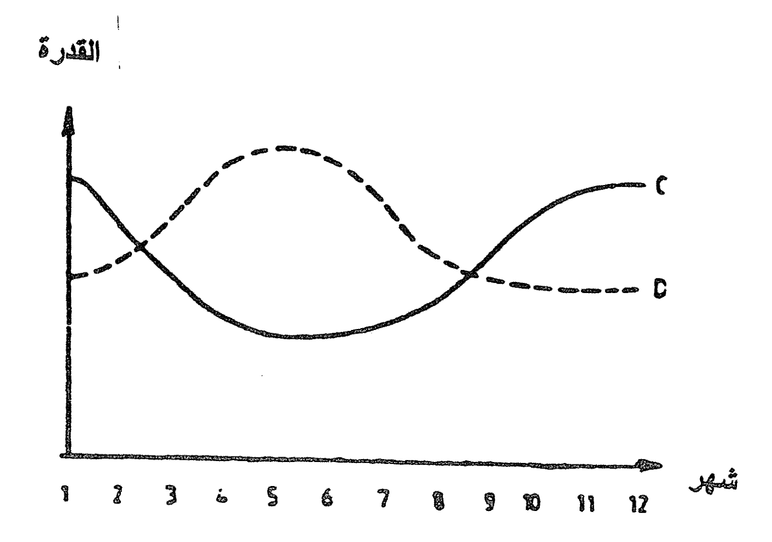
شكل (10-2) منحنى حمل يومى (KW)



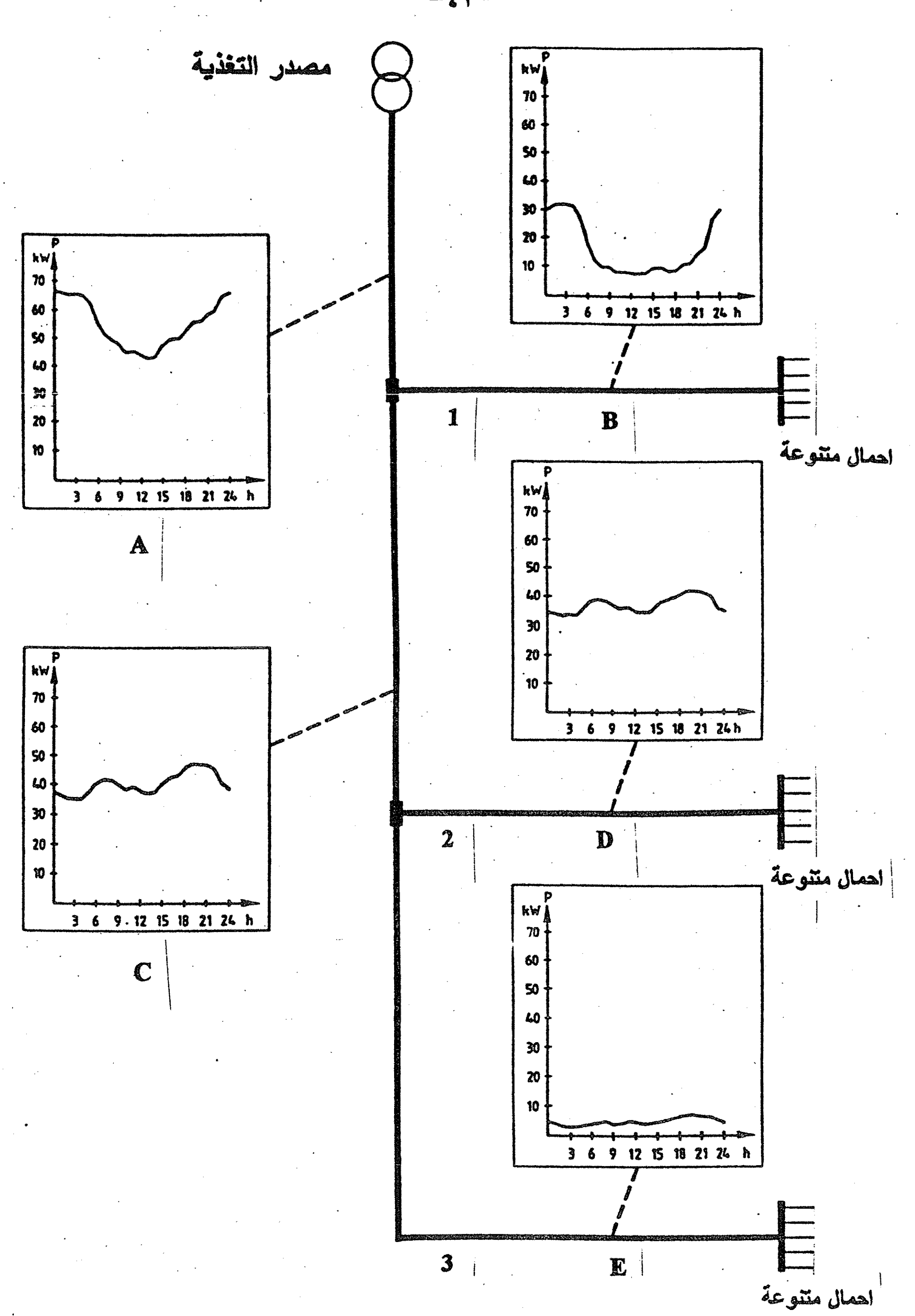
شكل (11-2) مقارنة بين منحنى حمل يومى فى فصلى الصيف و الشتاء



شكل (12-2) المنحنيان A , B لستهلكين ذوى طبيعة احمال مختلفة

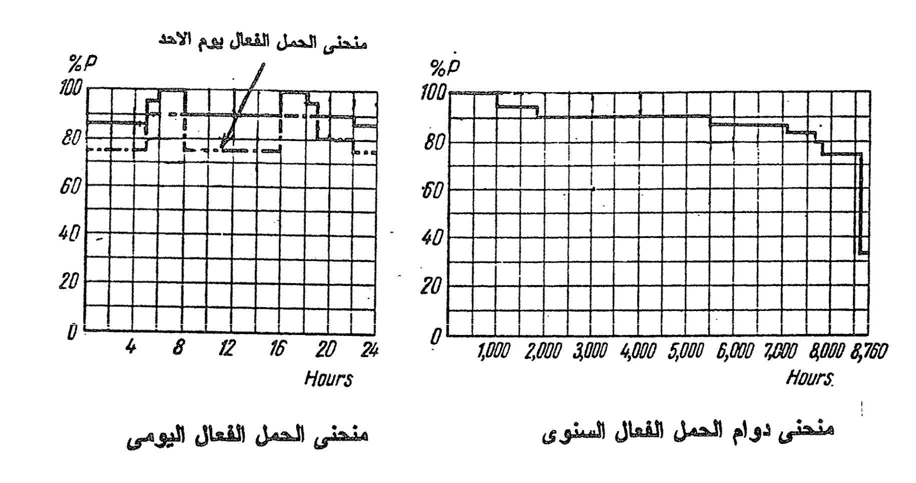


شكل (13-2) المنحنيان C , D لستهلكين ذوى طبيعة احمال مختلفة



شكل (14-2) نموذج لمواضع قياس الاحمال

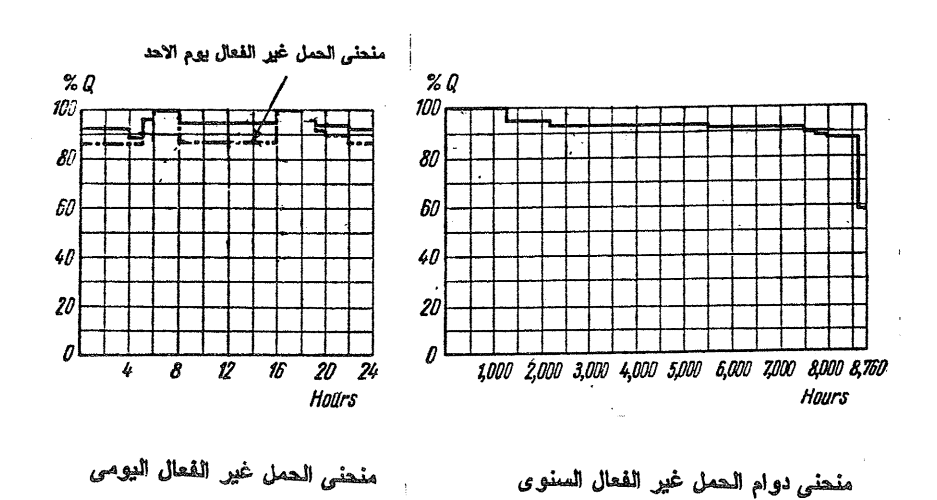
(ادارة طلب الطاقة -١)



منحنى الحمل الفعال اليومى

منحنى دوام الحمل الفعال السنوى

(أ) منحنى الحمل الفعال P %

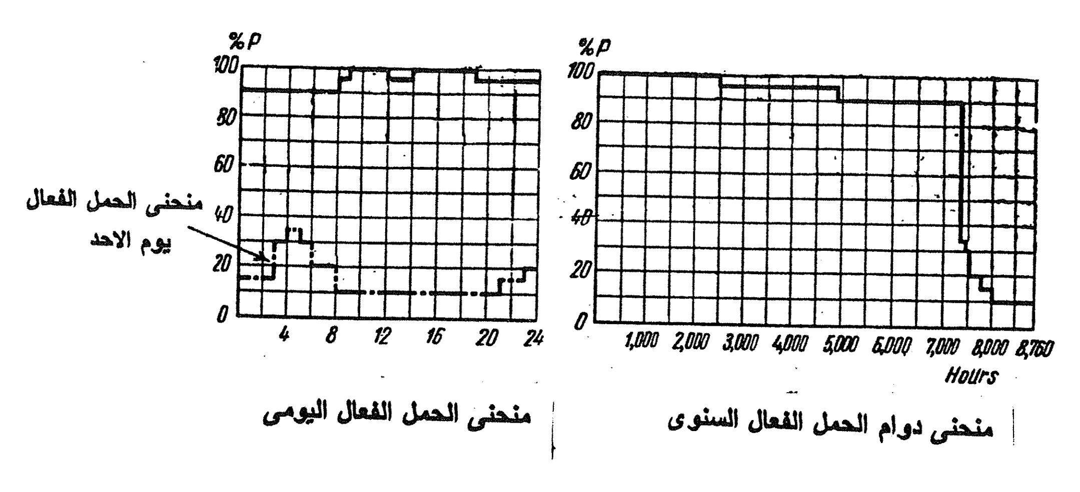


منحنى الحمل غير الفعال اليومى

منحنى دوام الحمل غير الفعال السنوى

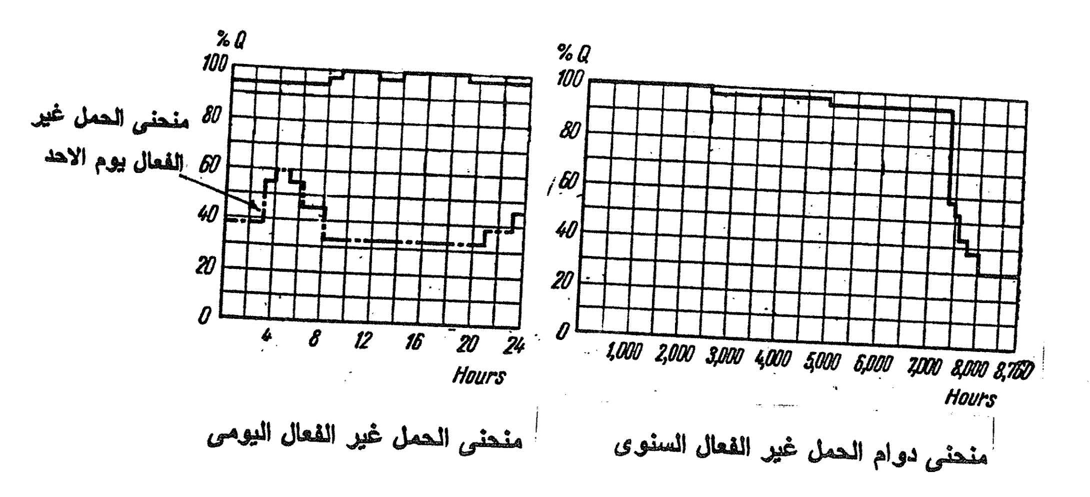
(ب) منحنى الحمل غير الفعال Q %

شكل (2-15) منحنيات الحمل النموزجى لمصانع الورق وعجينة الورق



منحنى الحمل الفعال اليومى | منحنى دوام الحمل الفعال السنوى

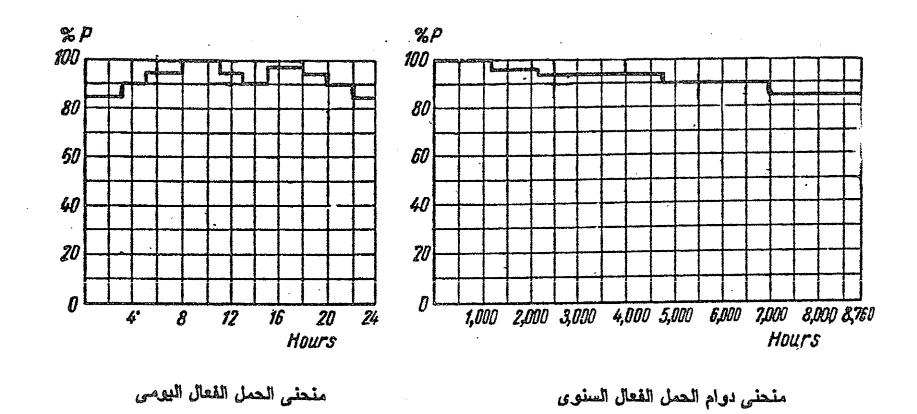
(أ) منحنى الحمل الفعال P %



منحنى الحمل غير الفعال اليومى | منحنى دوام الحمل غير الفعال السنوى

(ب) منحنى الحمل غير الفعال Q%

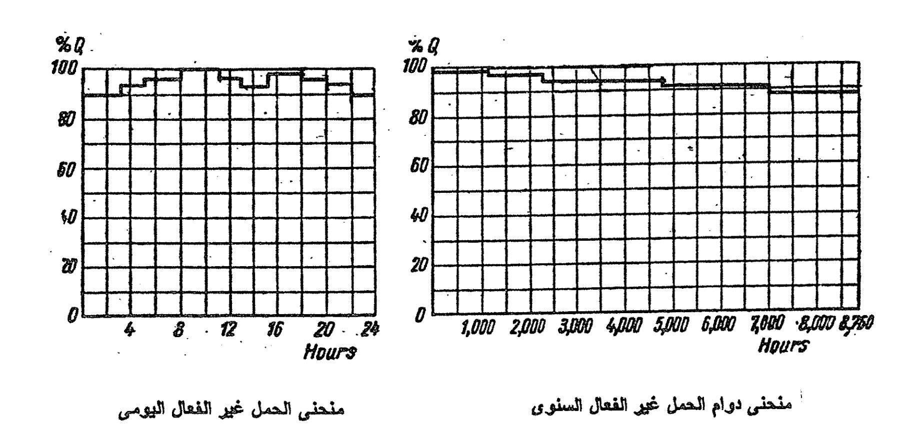
شكل (2-16) منحنيات الحمل النموزجى امصانع النسيج



منحنى الحمل الفعال اليومى

منحنى دوام الحمل الفعال السنوى

(أ) منحنى الحمل الفعال P %

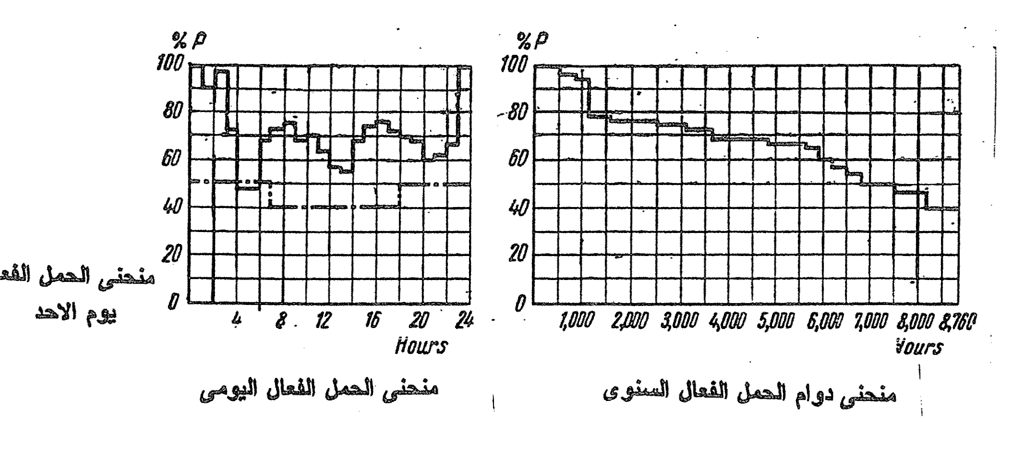


منحنى الحمل غير الفعال اليومى

منحنى دوام الحمل غير الفعال السنوى

(ب) منحنى الحمل غير الفعال Q %

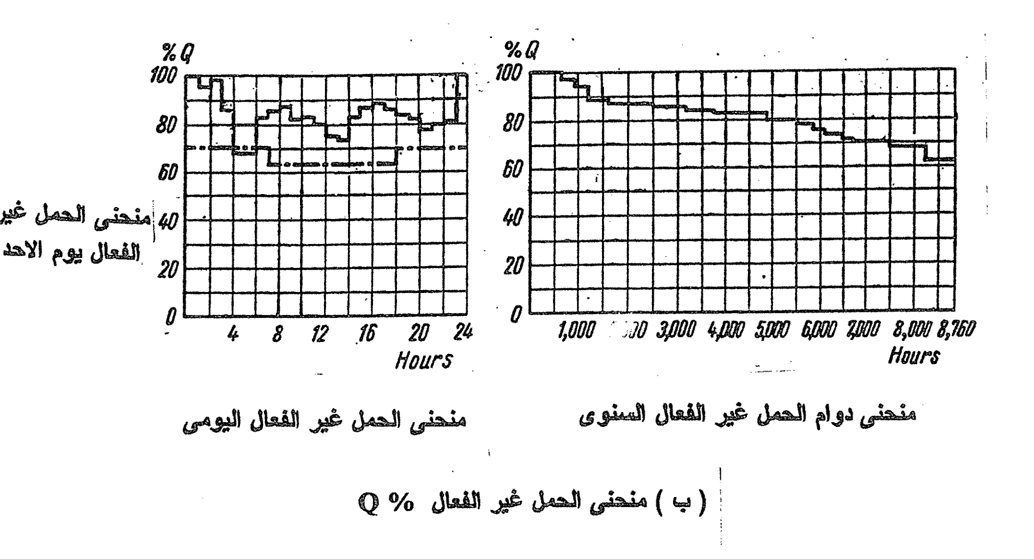
شكل (2-17) منحنيات الحمل النموزجي لمصانع الحديد و الصلب



منحنى الحمل الفعال اليومى

منحنى دوام الحمل الفعال السنوى

(أ) منحنى الحمل الفعال P %

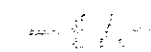


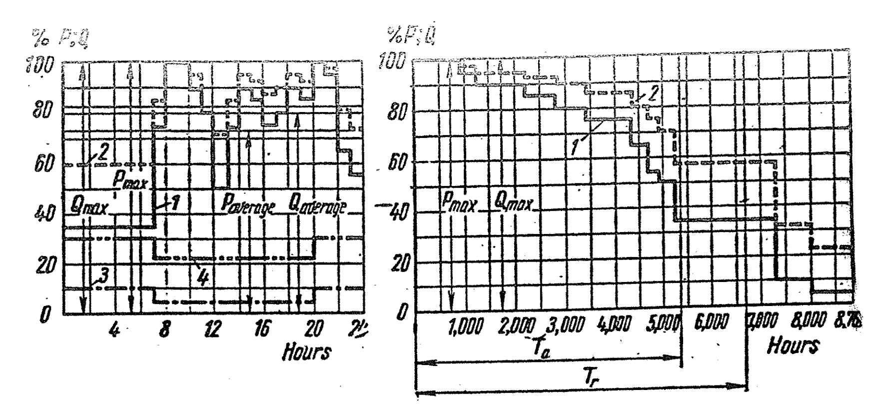
منحنى الحمل غير الفعال اليومى

منحنى دوام الحمل غير الفعال السنوى

(ب) منحنى الحمل غير الفعال Q %

شكل (2-18) منحنيات الحمل النموزجى للاعمال الهندسية الثقيلة





منحنيات دوام الحمل الفعال و غير الفعال السنوى

(1) منحنى الحمل الفعال اليومى – السنوى

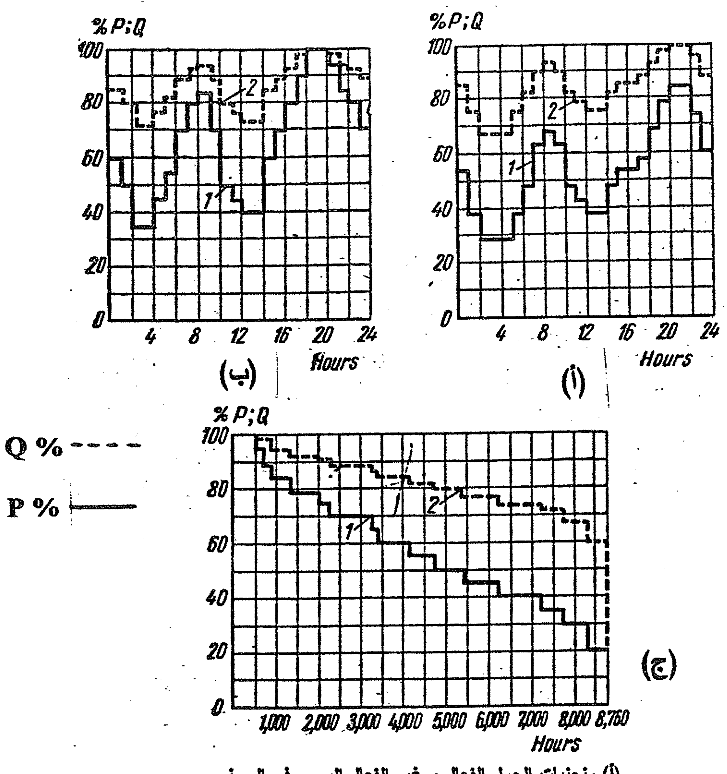
(2) منحنى الحمل غير الفعال اليومى – السنوى

منحنيات الحمل الفعال و غير الفعال اليومى

(3) منحنى الحمل الفعال يوم الاحد

(4) منحنى الحمل غير الفعال يوم الاحد

شكل (19-2) منحنيات الحمل النموزجى لمصنع قطع الغيار

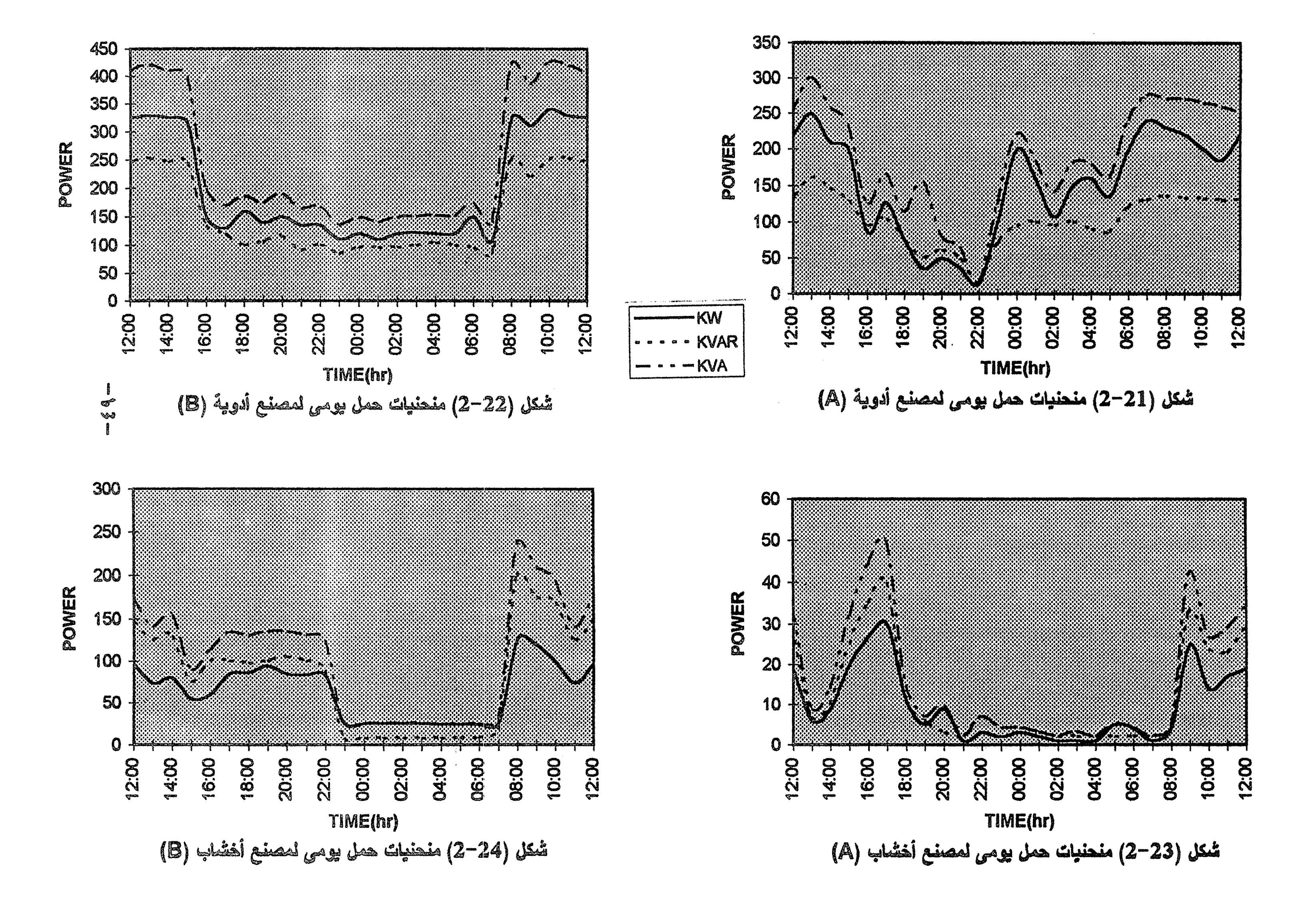


(أ) منحنيات الحمل الفعال و غير الفعال اليومى فى الصيف

(ب) منحنيات الحمل الفعال و غير الفعال اليومى فى الشتاء

(ج) منحنيات دوام الحمل الفعال و غير الفعال السنوى

شكل (20-2) منحنيات الحمل النموزجى لمجتمعات الضواحى الكبيرة

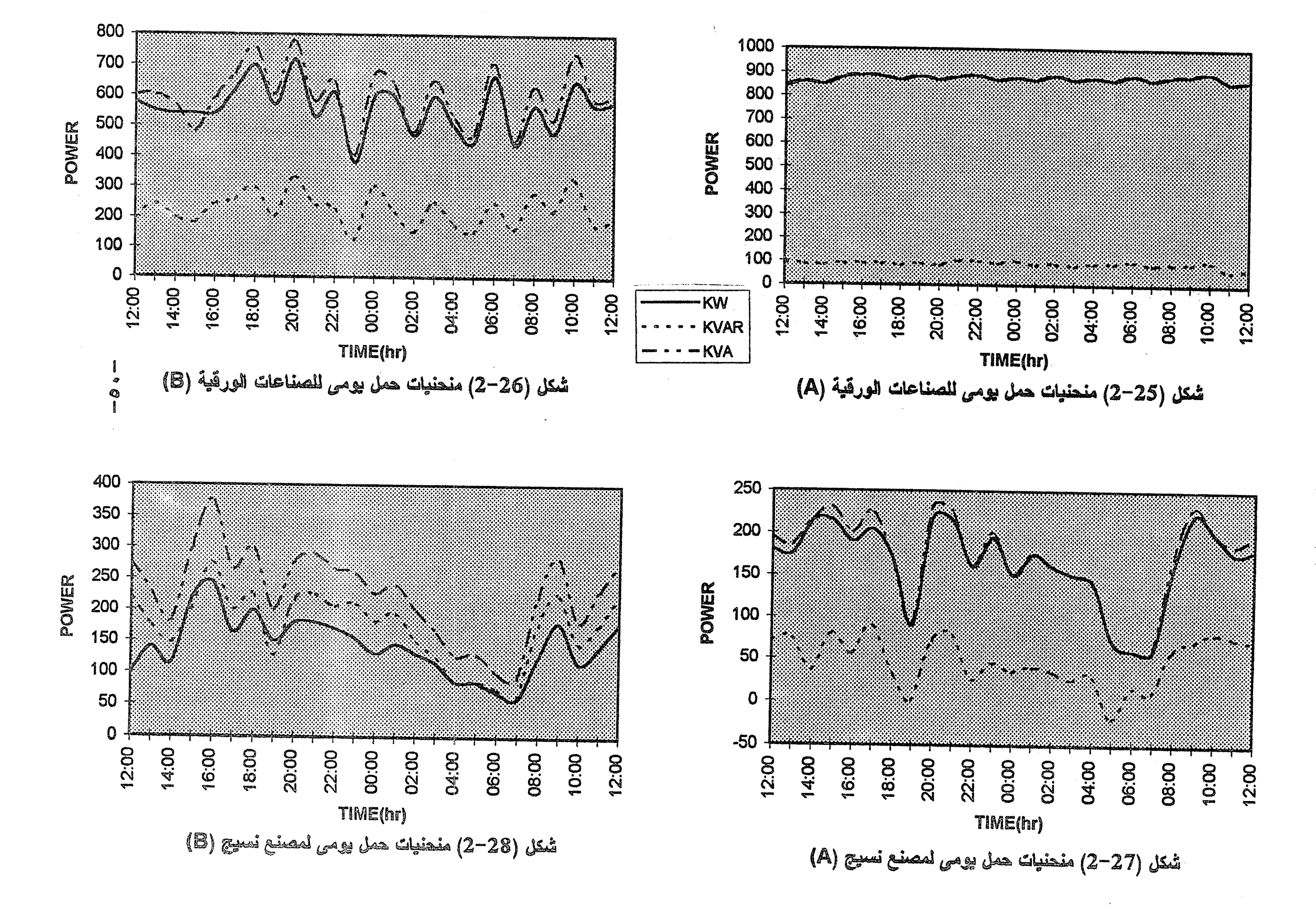


شكل (2-21) منحنيات حمل يومى لمصنع أدوية (A)

شكل (2-22) منحنيات حمل يومى لمصنع أدوية (B)

شكل (2-23) منحنيات حمل يومى لمصنع أخشاب (A)

شكل (2-24) منحنيات حمل يومى لمصنع أخشاب (B)

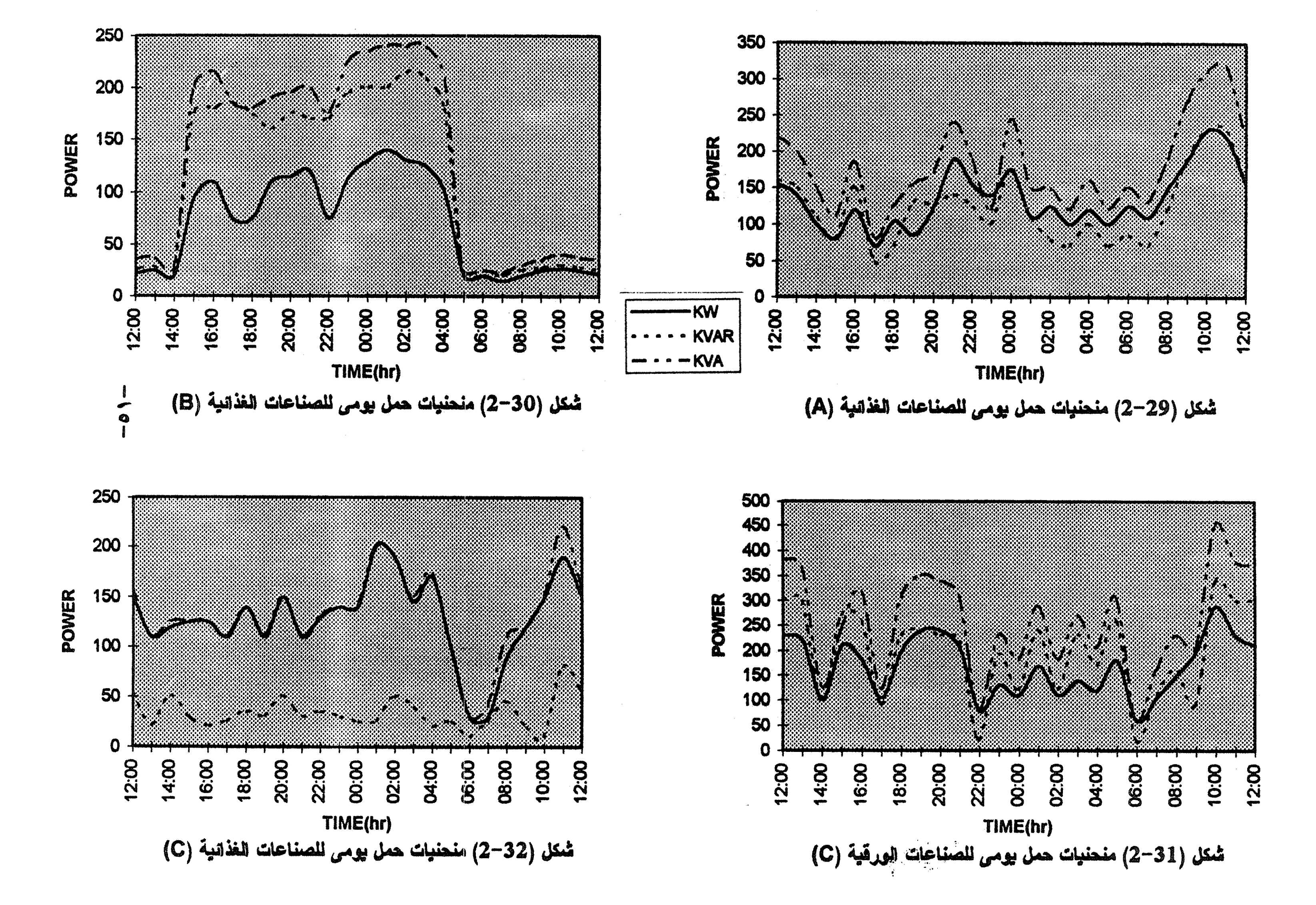


شكل (2-25) منحنيات حمل يومى للصناعات الورقية (A)

شكل (2-26) منحنيات حمل يومى للصناعات الورقية (B)

شكل (2-27) منحنيات حمل يومى لمصنع نسيج (A)

شكل (2-28) منحنيات حمل يومى لمصنع نسيج (B)

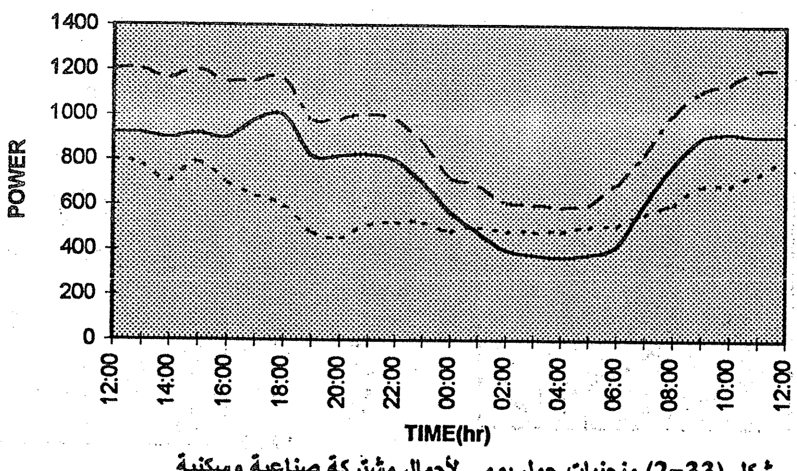


شكل (2-29) منحنيات حمل يومى للصناعات الغذائية (A)

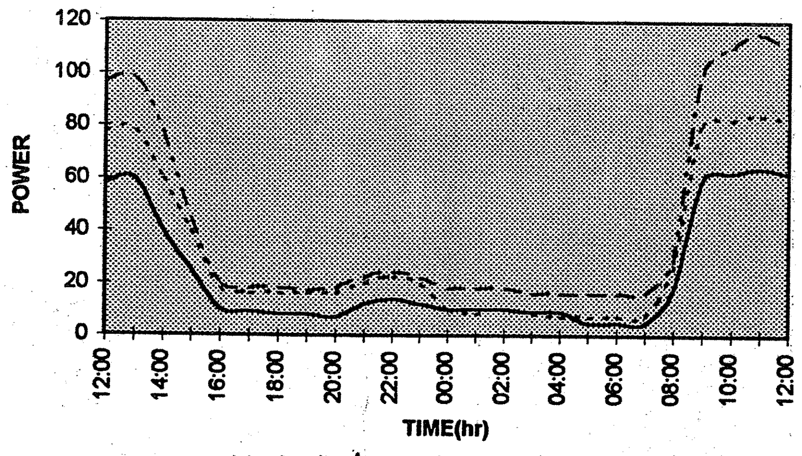
شكل (2-30) منحنيات حمل يومى للصناعات الغذائية (B)

شكل (2-31) منحنيات حمل يومى للصناعات الورقية (C)

شكل (2-32) منحنيات حمل يومى للصناعات الغذائية (C)



شكل (2-33) منحنيات حمل يومى لأحمال مشتركة صناعية وسكنية



شكل (2-34) منحنيات حمل يومى لأحمال مبنى ادارى

KW KVAR KVA

2-3 ادارة الحمل Load Management

يكون الغرض الاساسى من نظام ادارة الحمل هو تغيير شكل منحنى الحمل للمنشأة تحت الدراسة ويمكن عمل ذلك بطرق متعددة منها تقليل ذروة الطلب (peak reducing) أو قطع ذروة الطلب (peak clipping) أوملء الجزء المنفرج للمنحنى (filling up valleys) ويقصد بذلك ان جانبى منحنىالحمل يكونا منخفضين ، حيث ان منحنى الحمل يكون مقسما إلى ثلاث دورات ، الدورة الاولى والثالثة منخفضة القيمة بينما الدورة الوسطى مرتفعة القيمة) ، ويؤدى نظام ادارة الحمل إلى تقليل القدرة مرتفعة التكاليف المأخوذة من التربينات الغازية ومن وحدات التوليد منخفضة الكفاءة .

وبالتحكم فى الحمل يمكن تحسين الإقتصاد الإجمالى لنظام القدرة الكهربائية ، وعليه يمكن تأجيل إنشاء محطات توليد جديدة وتدعيم شبكات الجهد المنخفض والعالى .

ومن المعدات التى يمكن التحكم فيها وتؤثر فى منحنى الحمل :

تكييفات الهواء – سخانات التدفئة (space heaters) – سخانات المياه (water heaters) – طلمبات الرى (irrigation pumps) , بالإضافة إلى ذلك يمكن التحكم فى الاحمال الصناعية عن طريق الفصل أو تقليل الأحمال لبعض الفترات بدون التأثير أو الإخلال بخط الانتاج . أيضا يمكن التحكم فى اضاءة الطرق – إضاءة واجهات المحلات – استخدام عدادات متعددة المدى (multirate meters) – واستخدام عدادات القراءة عن بعد .

وفيما يلى الأنواع المختلفة لأشكال منحنى الحمل وكيفية تغيير المنحنى .

تغيير شكل الحمل Generic load - shape changes

يمكن تغيير شكل منحنى الحمل بأحد التكنولوجيات الآتية :

١– قطع ذروة الطلب peak clipping

وتعنى تقليل أقصى حمل فى فترات الذروة . وهذا يؤدى إلى تقليل كل من الطلب (Kw) والطاقة المستهلكة الكلية (KWh)

ومن تطبيقات قطع ذروة الطلب

أ– تكييفات الهواء عالية الكفاءة Energy efficiency air conditioning

ب- التحكم المباشر فى تكييفات الهواء Direct load control of air conditioning

جـ- برنامج التحكم فى الفقد الحرارى للمواسير

Duct thermal loss control program

ء- التحكمات فى المياه الساخنة Water heater controls

هـ- معدلات الانقطاعات Interruptible rates

يوضح شكل (2-35)أ المقصود بقطع ذروة الطلب

2- ملء الجزء المنفرج Valley filling

وهذا يعنى إضافة أحمال فى أوقات عدم الذروة (off - peak periods) . أى زيادة الطاقة المستهلكة KWh للنظام .

ومن تطبيقات ملء الجزء المنفرج لمنحنى الحمل :

أ- تخزين الطاقة الحرارية Thermal energy storage loads

مثل تسخين المياه – والحفاظ على الفراغات والمساحات الدافئة .

ب- اضاءة الطرق والطوارىء

يوضح شكل (2-35)ب ملء الجزء المنفرج لمنحنى الحمل

3- تغيير الأحمـــال Load shifting

وهو ازاحة أو تغيير الأحمال من فترات الذروة إلى فترات عدم الـذروة ، وهـذه الطريقـة لا تحدث تغيير فى الاستهلاك الكلى .

ومن تطبيقات تغيير أو ازاحة الأحمال :

أ- تخزين المياه الساخنة Storge water heater

ب- الحفاظ على فراغات ومساحات دافئة (التحكم فى تكييفات الهواء)

جـ- تخزين الحرارة Storge heating

ء- التحكم فى الرى Irrigation control

هـ- عدادات المحاسبة تبعا للوقت Time - of use rates

ويوضح شكل (2-35) جـ المقصود بتغيير الأحمال

4- التـرشيد Conservation

يعنى تقليل الاستهلاك الكلى لدورة الحمل .

ومن تطبيقات الترشيد

أ- اضافة مواد عازلة للحوائط والأسقف والأرضيات

ب- عزل عالى الكفاءة للشبابيك

جـ- مضخات المياه الساخنة

ء- الإضاءة عالية الكفاءة

هـ- أجهزة منزلية عالية الكفاءة

ويلاحظ فى شكل(2-35)ء أنخفاض كل من القدرة المأخوذة من المصدر والطاقة المستهلكة الكلية

5- بنــاء الأحمال Load building

أو نمو الاحمال Load growth

وهو يعنى زيادة الاحمال والاستهلاك خلال كل دورة الحمل أو معظمها

ومن تطبيقات بناء الاحمال :

أ مضخات المياه الساخنة

ب- خطوط انتاج جديدة

جـ- اضافة أحمال لمشتركين جدد

ويوضح شكل (2-35)هـ المقصود ببناء الأحمال

6- التشكيل المرن للأحمال Flexible load shape

وهو يعنى التنوع فى العول (reliability) وجودة الخدمة (quality of survice) ويمكن أن يؤدى هذا إلى حدوث أو عدم حدوث تغيير طفيف فى الاستهلاك الكلى (Kwh)

ومن تطبيقات التشكيل المرن للأحمال

أ- فصل الأحمال

ب- التسخين بنظام الوقود المزدوج (Dual - fuel)

جـ- وجود مولد احتياطى

يوضح شكل (2-35) و المقصود بالتشكيل المرن للأحمال

أهداف ادارة الحمل Objectives of load management

1- تقليل الذروة (peak reduclion)

حيث أن شبكات توزيع الكهرباء تغذى أحمال ذات طبيعة مختلفة فان منحنى الحمل (غالبا) يتغير خلال 24 ساعة ، كذلك يتغير من يوم إلى آخر ومن موسم إلى آخر .

كثير من المستهلكين لديهم أجهزة يمكن أن تفصل فى أوقات معينة بدون أن تسبب أية اضطرابات . إن أمكن أن يتم فصل هذه الأجهزة فى فترة ذروة الحمل اليومى وتشغيلها فى فترات عدم الذروة – مثلا فى الفترة الاولى أو الثالثة لمنحنى ملء الجزء المنفرج فإن منحنى الحمل سيتغير كما فى شكل (2-36)

يعتمد التغير فى تقليل الحمل على الأنواع المختلفة لأحمال المستهلكين والتى يمكن حسابها منفصلة لكل تصنيف من المستهلكين . يمتاز تقليل ذروة الحمل بأنه يمكن أن يؤجل انشاء محطات توليد جديدة وأيضا تأجيل عمل تدعيم لشبكات الجهد المنخفض والمرتفع .

2- تقليل التكاليف المرتفعة لتوليد القدرة

(Minimizing High cost power generation)

يتغير معدل كفاءة المولدات ذات الأنواع والأعمار المختلفة . بالتحكم فى الحمل يمكن تقليل استهلاك القدرة وذلك عندما يكون معدل كفاءة المولدات منخفض . بهذه الطريقة يمكن الحصول على وفر هائل .

3- طرح الحمل (Load shedding)

فى الحالات الطارئة ،عند حدوث اضطرابات فى الشبكات الكهربائية ، يمكن بطرق التحكم فى الحمل التقليل السريع فى القدرة المستهلكة . بهذه الطريقة يمكن استمرارية التغذية الكهربائية مع فصل بعض المستهلكين تبعا للأهمية .
يمكن طرح الحمل من خلال المكونات الرئيسية أو الفرعية للشبكة .

4- تشغيل الأحمال المفصولة (Cold Load pick-up)

فى الشبكات المحتوية على تكييفات الهواء - سخانات المياه - والأجهزة الأخرى التى يتحكم فيها عن طريق ثرموستات (Thermostats) . عند حدوث انقطاع للتغذية الكهربائية فى هذه اللحظة تكون أغلب الثرموستات فى وضع قفل فيرتفع الحمل استثنائيا فى أول لحظة لإعادة التغذية الكهربائية للشبكة . يؤدى هذا إلى زيادة حمل اضطرارى والنتيجة انقطاع التغذية مرة أخرى .

يمكن حل هذه المشكلة بسهولة بمساعدة نظام التحكم فى الحمل، فمثلا يمكن لهذه النوعية من الاحمال أن تظل مفصولة آليا لفترة زمنية محددة عندما يصبح الجهد مساويا للصفر،وبعد رجوع الجهد يمكن توصيل الحمل بنجاح مرة أخرى باستخدام التحكم فى الحمل.

مثلا يوضح شكل (37-2) توزيع المستهلكين إلى المجموعات 1,2,3,4 فعند رجوع جهد التغذية يمكن تشغيل المجموعة 1 أولا ... وبعد تأخر زمنى محدد يتم تشغيل المجموعة 2 ..... وهكذا

المعدات التى يمكن التحكم فيها (Objects Controlled)

١ - مكيفات الهواء والسخانات (Air conditioners, Space heaters)

يفضل عدم فصل المكيفات والسخانات لفترة طويلة حتى لا يسبب هذا ازعاج للمستهلكين.عن طريق فصل وتوصيل المكيفات والسخانات دوريا يمكن تقليل ذروة الحمل بدون تأثير محسوس على الحالة الجوية للمكان . يتم تقسيم المشتركين إلى

مجموعات ، مثلا ثلاثة مجموعات ، كل مجموعة تفصل معداتها لمدة 20 دقيقة وتعمل لمدة 40 دقيقة . بهذه الطريقة تقل ذروة الحمل حوالى $\frac{1}{3}$ الحمل المنفصل . توجد برامج تشغيل مختلفة ويمكن اختيار المناسب منها .

2- سخانات المياه – سخانات تخزين حرارية – طلمبات الرى

(Water Heaters,Thermal Storage Heaters, Irrigation Pumps)

هذه المجموعة تحتاج للتشغيل من 8 إلى 10 ساعات فى اليوم . يمكن عن طريق التحكم فى الحمل تشغيلها خلال فترات الليل وفى نهاية الاسبوع بينما يفصل خلال فترات النهارفى أيام العمل .

3- الثلاجات والديب فريزر (Refrigerators, Deep - Freezers)

الثلاجات والديب فريزر ليست من الأجهزة المناسب التحكم فيها دوريا وحيث أنها من الأنواع المعزولة جيدا فهى تعمل آليا بنظام الفصل/التوصيل (اذا لم يتم تكرار فتحها) لأكثر من 50% من زمن دورة الفصل،وبالتجهيز السليم لضبط الثرموستات ، فان استخدام التحكم فى مصدر التغذية يتسبب فى إرتفاع متوسط درجة الحرارة ، واذا حدث هذا يوميا فانه يؤدى إلى تلف المواد الغذائية .

تعتبرالثلاجات والديب فريزرمن الأشياء التى يمكن التحكم فيهاعن طريق (Cold Load pick up)

4- الأحمال الصناعية (Industrial loads)

كثير من الصناعات تستخدم سخانات المياه – الأفران الكهربائية – الضواغط الهوائية ... والتى يمكن فصلها لفترة طويلة أو قصيرة بدون حدوث اضطرابات للعمليات الصناعية . ونتيجة اختلاف صناعة عن أخرى فانه يلزم دراسة كل حالة منفصلة ووضع توصيات لها.

5- اضاءة الطرق - واجهات المحلات - العلامات الكهربائية
(Street Lighting , Shop Windows , Electric Signs)

يفضل استخدام نظام التحكم فى فصل وتوصيل إضاءة الطرق ، حيث يكون مسموحا بتغيرنصوع (brightness)الاضاءة بالنسبة لشدة الازدحام .

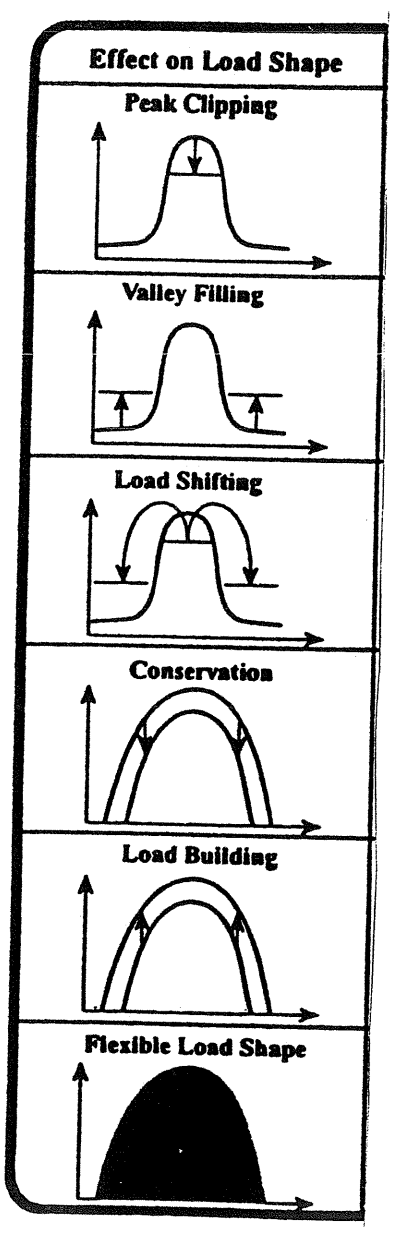
يمكن تشغيل واجهات المحلات والعلامات الكهربائية إما منفصلة أو فى مجموعات

6- عدادات القراءة عن بعد (Remote-Reading of Meters)

تستخدم عدادات القراءة عن بعد بنجاح اذا كانت متصلة بمراكز إدارة الأحمال حيث يمكن مراقبة الإستهلاك والتحكم فيه بصفة مستمرة .

7- مفاتيح المقاطع (Sectionalizing switches)

يمكن استخدام تحكمات الحمل لتشغيل مفاتيح المقاطع وقواطع التيار (breakers) فى شبكات الجهد العالى . بذلك يسهل سرعة تحديد مكان العطل وعزل الجزء العاطل .



(أ) قطع ذروة الطلب

(ب) ملء الجزء المنفرج

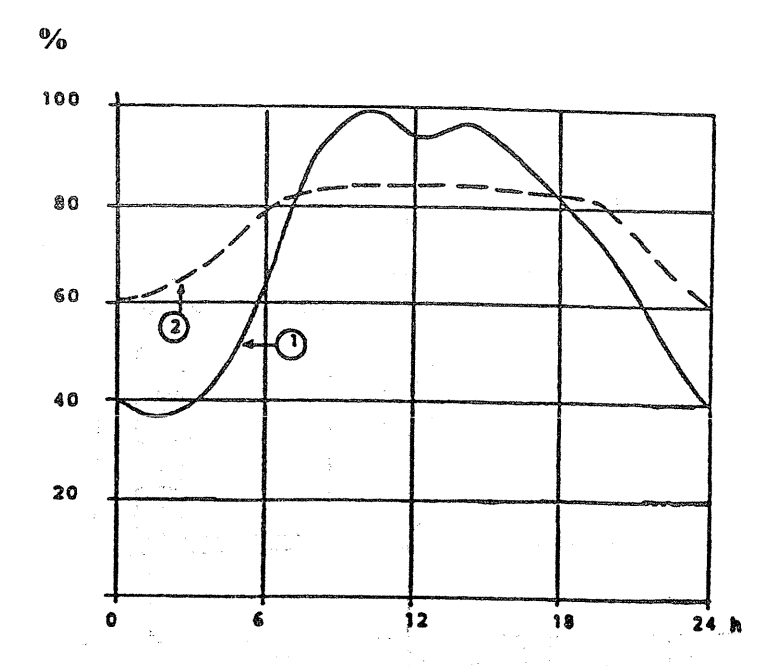
(ج) تغيير أو ازاحة الحمل

(ء) الترشيد

(ه) بناء الاحمال

(و) تشكيل مرن للاحمال

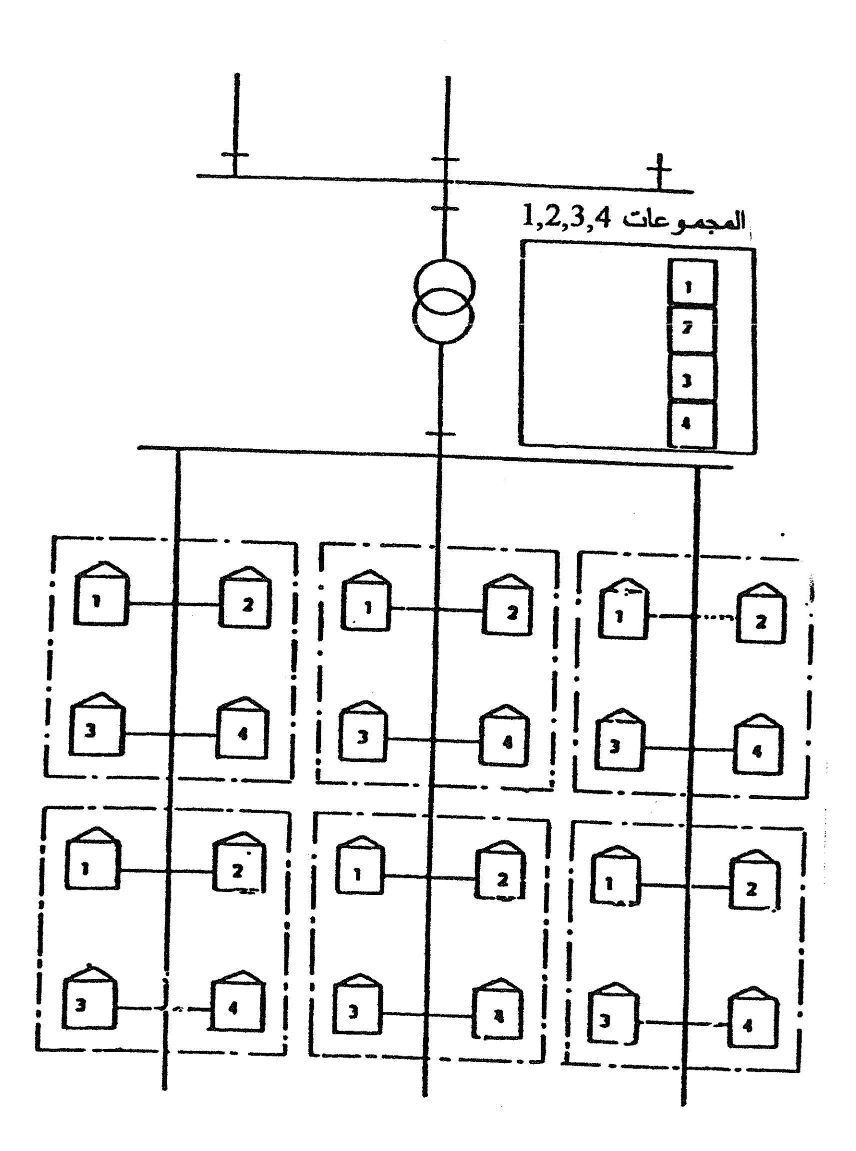
شكل (2-35) التكنولوجيات المختلفة لتغير منحنى الحمل



(1) قبل التحكم فى الحمل

(2) بعد التحكم فى الحمل

شكل (36-2) تغير منحنى الحمل بعد ملء الجزء المنفرج



شكل (37-2) تقسيم المستهلكين الى مجموعات

الباب الثالث

نظم البخار والمتكاثف

Steam and Condensate Systems

يعتبر البخار من أهم وسائل الخدمات المستخدمة فى المنشآت الصناعية والتجارية ، ويمتاز إلى جانب رخص تكلفته بأنه أكثر الأوساط الممكنة لنقل الحرارة ، بالإضافة إلى أنه لا يمثل أى خطورة فى حالة تسربه حيث أنه بدون رائحة وغير سام .

المياه متوفرة فى كل مكان وببعض المعالجة البسيطة للمياه الخام يمكن استخدامها فى الغلايات للحصول منها على البخار. خلال عمليات الغليان والتكثيف ، اذا كان الضغط ثابت لكل من المياه والبخار، فإن درجة الحرارة أيضا تكون ثابتة .

للتحويل من السائل (مائع) إلى البخار تمتص كميات كبيرة من الحرارة لكل باوند (Pound) مياه .

يتم توليد البخار بحرق الوقود فى الغلايات ، وخلال اطار الغلاية (اذا كانت مغلقة) تنتقل الحرارة إلى المياه لتحويله إلى بخار مع ثبات حجم الغلاية وتنتقل الحرارة خلال اطار الغلاية (اذا كانت مفتوحة) إلى المياه وتحوله إلى بخار مع ثبات الضغط .

غالبا يكون متكاثف البخار مياه عالية النقاوة عند درجات حرارة متوسطة أو عالية .

وعادة فى جميع المصانع والمنشآت المستخدمة للبخار ، يتم استرجاع أكبر كمية ممكنة من المتكاثف إلى الغلاية لإعادة استخدامه ، ويؤدى ذلك إلى توفير الحرارة وتوفير مياه التعويض وتوفير أى كمياويات تستخدم فى معالجة المياه .

يتم نقل وتوزيع البخار من خلال شبكات مواسير معزولة عزلا جيدا ، كذلك يتم نقل متكثف البخار من خلال شبكات مواسير المتكاثف . يجب اضافة أجهزة مساعدة لشبكات توزيع البخار وعودة المتكاثف ، من هذه الأجهزة :

مصايد البخار - منفس هواء - تصريف هواء - مصفاه - جهاز فصل - محابس - صمامات .

وعلى ذلك يتكون نظام البخار والمتكاثف من :

- الغلاية (boiler)

- خطوط البخار (steam pipes) بما فيها من صمامات تحكم (control valve) ومصايد بخار (steam traps)
- نظام المتكاثف (condensate system) والذى يتكون من المواسير (pipes) والخزانات (tanks) والمضخات (pumps)

ويوضح شكل (1-3) المكونات الرئيسية لنظام البخار والمتكاثف .

تنتج الغلاية (أو مولد البخار) البخارعند أعلى ضغط وأعلى درجة حرارة مطلوبة للعمليات الصناعية والانتاجية المختلفة.

ينقل هذا البخار من الغلاية خلال شبكة بخار رئيسية إلى أماكن معدات العمليات التى تعمل بالبخار .

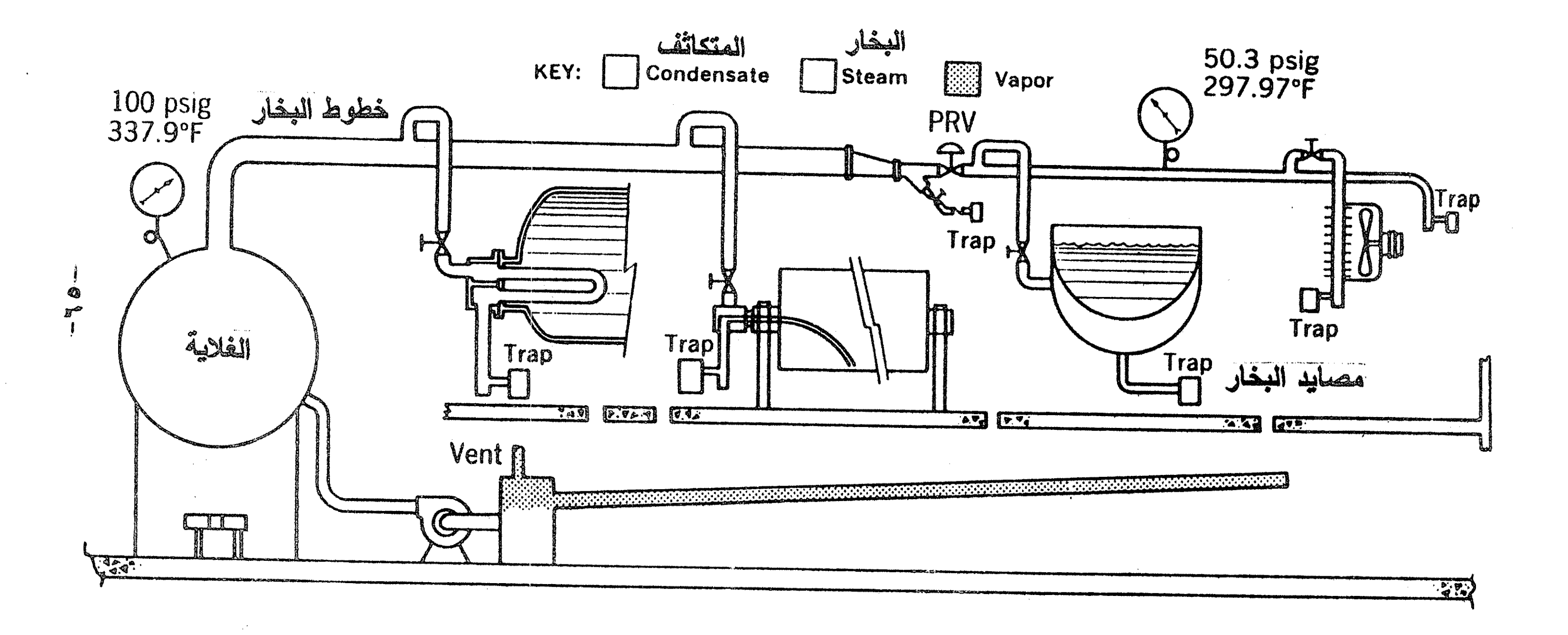
اذا احتاجت بعض العمليات إلى بخار ذو درجة حرارة منخفضة ، عندئذ يتم خنق (throttled) البخارلتقليل ضغطه وذلك خلال صمام تنظيم الضغط (pressure regulating valve) والذى يرمز له بالرمز PRV .

تكون أماكن مصايد البخار (steam traps) عند المواضع التى تسمح للمتكاثف بالتصريف الخلفى (drain back) إلى خطوط رجوع المتكاثف ، والتى ترجع إلى مستقبل المتكاثف .

فى بعض المصانع لا يتم استرجاع المتكاثف ولكن يصب فى المصارف (drain) .

فى هذا الباب سيتم التعرض للموضوعات الآتية :

- تعريف البخار وخصائصه
- جداول البخار
- مخططات البخار
- مكونات نظام البخار والمتكاثف



شكل (3-1) المكونات الرئيسية لنظام البخار والمتكاثف .

3-1 البـخار steam

يستخدم بخار المياه لحمل الطاقة المتولدة مـن الوقود المحترق فـى الغلايـات (boilers) إلـى الآلات المختلفـة التىتحتـاج فـى عملهـا إلـى البخـار (لأغراض التسـخين مثـلا) . أو يستخدم كوسيط لنقل الحرارة .

المصادر المختلفة للحصول على البخار :

1- بحرق الوقود فى وحدة غلاية مركزية central boiler plant

2- بإستغلال حرارة العادم (waste heat) الناتجة من العمليات الصناعية المختلفة

3- من مخرج التربينات ذات الضغط الخلفى back pressure turbines

4- من التربينات الأستخراجية (extraction turbines) المستخدمة فـى توليد القـدرة الكهربائية .

يجب أن يكون نظام توزيع البخار على درجة عالية من الكفاءة . ويجب أن يتوفـر البخـار بالكمية الصحيحة وفى الوقت المطلوب للنظام عند درجة حرارة وضغط مناسبين .

يجب معرفة :

- كيفية إختيار نظم توزيع البخار .
- تحديد مواضع الفقد فى الطاقة .
- تطوير نظم التوزيع لتقليل الفقد .
- كفاءة التشغيل لنظم البخار .
- ترشيد إستخدام الطاقة فى نظم البخار .
- ما هى العوامل التى تؤثر على إستهلاك مصادر الطاقة فى نظم البخار ؟

البخار steam

البخـار هـو ميـاه فـى الطـور الغـازى (البخـارى) (vapor phase) ونحصـل عليـه بتسخين المياه ، عند الضغط الجوى مثلا ، حيث تبدأ درجة حرارة المياه فى الأرتفاع حتى تصل إلى درجة الغليان (100^0C) عندئذ تعرف الميـاه بأنهـا ميـاه مشـبعة (saturated water) عنـد زيـادة درجـة الحـرارة تتحـول الميـاه إلـى بخـار ، (وتظـل درجـة الحـرارة والضغط ثابتين خلال هـذه العملية) إذا تحولت الميـاه بالكامـل إلى بخار أصبح بخار مشبـع

(saturated steam) وتكون درجة تشبع البخار عند ضغط التشبع هى نفسها درجة غليان البخار (boiling temperature) ودرجة تكثيفه (condensation temperature) عند نفس الضغط . وتعرف حالة التشبع بأنها الحالة التى عندها يتساوى معدل التبخير من السطح الحر للمياه مع معدل التكثيف للبخار عند السطح الحر للمياه . ويوضح شكل (2-3) هذه التعريفات .

من التعريفات المستخدمة فى نظم البخار

1-البخار المحمص (superheated steam)

هو بخار عند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التشبع

2- جودة البخار (steam quality)

أو درجة جفاف البخار (dryness steam)

أو نسبة جفاف البخار (steam dryness fraction)

هى النسبة بين كتلة البخار والكتلة الكلية (أو هى عبارة عن كتلة البخار المشبع المتواجدة فى وحدة الكتلة للبخار)

مثلا فى منظومة من البخار والمياه ، لو كانت كتلة بخار المياه تساوى 0.2 كجم ، وكانت كتلة المياه السائل 0.8 كجم فإن الجودة أو درجة الجفاف للبخار تساوى 20%

و تكون درجة جفاف أو جودة المياه المشبع تساوى الصفر .

بينما درجة جفاف أو جودة البخار المشبع تساوى الواحد الصحيح .

3- مياه مضغوط (compressed water)

مياه ضغطها أعلى من ضغط التشبع عند درجة الحرارة المعطاه .

4- مياه ذو تبريد دونى (subcooled water)

مياه درجة حرارتها أقل من درجة حرارة التشبع عند الضغط المعطى .

5- بخار رطب (wet steam)

الوصول إلى مياه وبخاره معا عند درجة حرارة التشبع (أو الوصول إلى مياه مشبع وبخار مشبع معا). (أو هو عبارة عن خليط من المياه المشبع والبخار المشبع عند ضغط التشبع ودرجة التشبع)

6- عملية التبخير (Evaporation)

هى عبارة عن تغير حالة المائع من الطور السائل (المياه) إلى الطور الغازى (البخار) .ويوضح شكل (3-3) العلاقة بين درجة الحرارة والضغط لمنحنى تشبع المياه.

بعد إنتاج البخار يتم نقله وتوزيعه إلى أماكن إستخدامه ، عندئذ تنطلق الحرارة الكامنة ويبدأ البخار فى التكثيف إلى سائل عند نقطة الغليان ويظل المتكاثف الناتج محتفظا بالطاقة التى أوصلت المياه إلى نقطة الغليان ، وللاستفادة من هذه الطاقة يفضل إعادة المتكاثف إلى الغلاية .

عند نقل وتوزيع البخار كان يجب التفكير فى أقطار مواسير النقل والتوزيع حيث أن البخار ذو الضغط الجوى يكون حجمه كبيرا بشكل ملحوظ ويلزم له إستخدام مواسير كبيرة الأقطار ، ويلاحظ أيضا أنه لضمان سريان وتدفق البخار عند مواضع إستخدامه أن يحدث هبوط فى الضغط ، وبناء على ذلك يتم توليد البخار فى الغلايات وإستخدامه فى شبكات المواسير عند ضغط أعلى من الضغط الجوى . ويعتمد إختيار قيمة الضغط على العمليات التشغيلية المختلفة المطلوبة. ويمتاز زيادة ضغط البخار إلى أنه يؤدى إلى خفض الحجم النوعى للبخار (specific volume)،(والذى يعرف بالحجم لكل وحدة كتلة) وبالتالى يمكن نقله وتوزيعه بسهوله أكثر فى شبكات مواسير ذات أقطار صغيرة نسبيا . يمتاز أيضا إرتفاع الضغط بأنه يصاحبه إرتفاع نقطة غليان المياه (أى درجة حرارة التشبع) وهذا يؤدى إلى زيادة فاعلية وفائدة البخار كوسيط للتسخين .

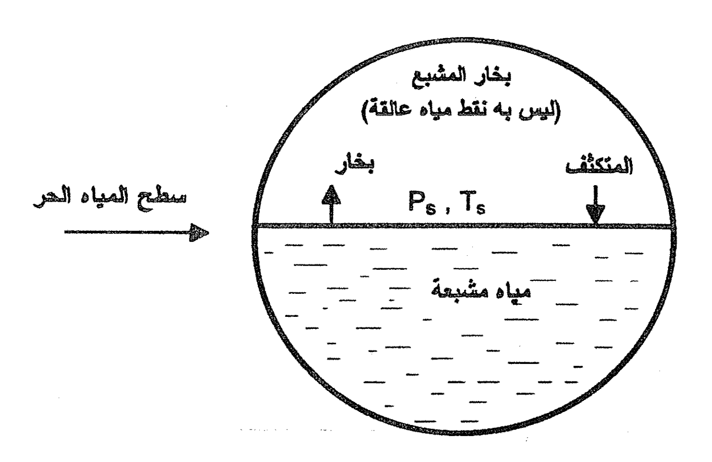
الطرق البديلة لاستخدام بخار المياه :

1- المياه الساخنة الدوارة (circulating hot water)

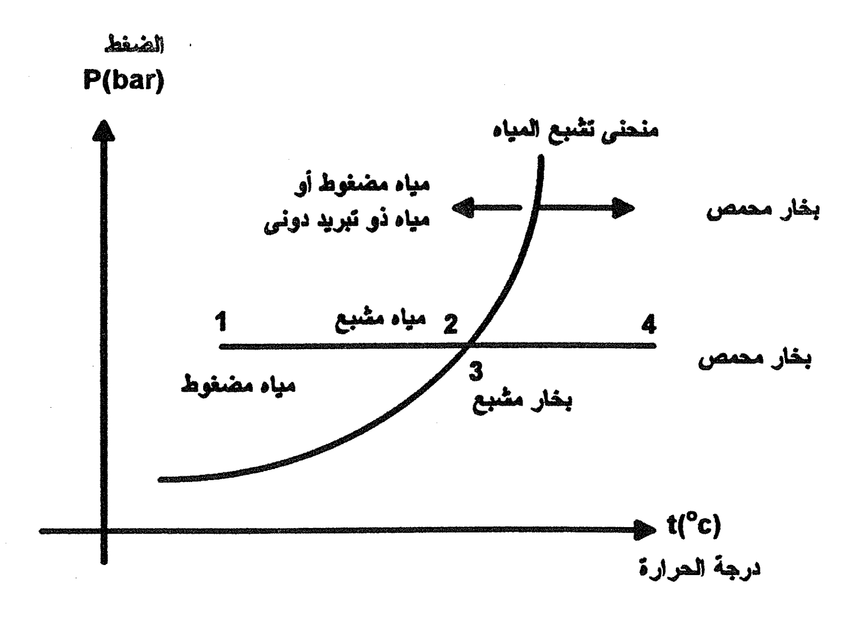
ونحصل على هذا النظام من غلاية المياه الساخنة .

من عيوب هذا النظام :

- إنخفاض درجة حرارة المياه بدرجة كبيرة .
- عند إستخدام نظام مضغوط فإن نظام المياه الساخنة الدوارة يكون أكثر تكلفة .
- إنخفاض الحرارة النوعية (specific heat)
- إنخفاض معامل إنتقال الحرارة (heat transfer coefficient)



شكل(3-2) تمثيل عملية البخار
P_s: ضغط التشبع
T_s: درجة تشبع البخار



شكل (3-3) منحنى تشبع المياه

2- نظم الزيت الساخن الدوار (circulating hot oil systems)

نحصل منه على درجة حرارة أعلى

ولكن من عيوب هذا النظام :

- إنخفاض الحرارة النوعية .
- إنخفاض معامل إنتقال الحرارة .

يستخدم البخار لأغراض متعددة فى الصناعات والأنشطة التجارية مثل :

صناعات الأغذية - السيراميك - البلاستيك - الورق ....

ويوضح جدول (3-1) أمثلة لبعض أنواع الصناعات من حيث الضغط النموذجى ومعدل الإستهلاك بينما يوضح جدول (3-2) أمثلة لبعض الأنشطة التجارية

جدول (3-1)

الضغط النموذجى ومعدل استهلاك البخار لبعض الصناعات

نوع الصناعة	الوصف	الضغط النموذجى (P_{sig})	معدل استهلاك البخار (lb / hr)
المشروبات الغذائية	عنبر غسل العبوات بمعدل 100 عبوة / دقيقة	5	310
صناعة الجبن والزبد	خط البسترة ، بمعدل100جالون مسخن(gal heated)/ 20 دقيقة	15 - 75	بحد أقصى 232
صناعة تشكيل البلاستيك	لكل سطح مطلى بمساحة 15 - 12 قدم مربع	125	29
صناعة الورق	مموج ، لكل 1000 قدم مربع	175	29
	ورق لباب الخشب ، لكل 100 باوند ورق	50	372
صناعة تفضيض المرايات	طاولات البخار المتوسط	100	87
صناعة الاطارات	سيارات النقل الكبيرة	100	87
	الاتوبيسات	100	29

جدول(3-2)

الضغط النموذجي ومعدل استهلاك البخار لبعض الانشطة التجارية

نوع النشاط	الوصف	الضغط النموذجي (P_{sig})	معدل استهلاك البخار (lb / hr)
مخابز / أفران	حوض العجين بطول 8 قدم	10	4
	فرن ، الخبز الابيض ، بسطح 120 قدم مربع	10	29
المستشفيات	أجهزة تعقيم من الجراثيم ، لكل 100 بوصة مربعة تقريبا	40 - 50	3
	مياه ، تعقيم من الجراثيم ، لكل 10 جالون تقريبا	40 - 50	6
	أفران التطهير - بابين-(100 - 50 قدم مكعب) لكل 10 قدم مكعب	40 - 50	21
المغسلة	كل مكواة بخار	100	4
	ماكينة التقوية باضافة النشا ، لكل 10 جالون سعة	100	7
	عمليات الغسل لكل 10 بوصة طول تقريبا	100	7
	تجفيف الملابس ، 40 بوصة ، لكل 10 بوصة طول تقريبا	100	38
المطاعم	طاولات البخار القياسية ، لكل قدم طولى	5 - 20	36
	غلاية شاى محاطة بغلاف بخار ، 25 جالون مخزون	5 - 20	29
	غلاية شاى محاطة بغلاف بخار ، 60 جالون مخزون	5 - 20	58
	أفران التسخين ، لكل 20 قدم مكعب	5 - 20	29

٠(ادارة طلب الطاقة -١)

3-2 جـداول البخـار Steam tables

بأستخدام جداول البخار يمكن الحصـول علـى خـواص البخـار المشبـع (saturated steam) والمياه المشبع (saturated water) والبخار المحمص (superheated steam) وذلـك عند الظروف المختلفة .

ولاستخدام جداول البخار المشبع يجب معرفة أما درجة حرارة أو ضغط البخـار المشبـع لامكانيـة الحصول على خواص البخار والمياه المشبعين. بينمـا لاستخدام جداول البخـار المحمـص يجب معرفة كل من درجة الحرارة والضغط للحصول على خواص البخـار المحمـص . والخـواص التـى تحتويها جداول البخار هى :

الضغط - درجة الحرارة - الحجم النوعى - الطاقة الداخلية - الانثالبيا - الانتروبيا .

ويستفاد من الجداول فى أغراض مختلفـة منهـا : حسـاب الوفر فـى البخـار - حسـاب الوفـر فـى الوقود نتيجة الوفر فى البخار - حساب تكلفة طن البخار ....

وفيما يلى تعريف خواص البخار والرموز المستخدمة لها :

1- الضغط (pressure)

ويرمز له بالرمز (p)

هو القوة المؤثرة على وحدة المساحة ووحداتة (N/m^2) (نيوتن/متر مربع) *

---

* من وحدات الضغط :

- بار (bar) : هو وحدة ضغط تساوى مليون داين لكل سم٢ ($1 dyn = 10^{-5}$ N)

[$1 bar = 10^5 P_a = 10^2 kP_a = 0.1 MP_a$]

- باسكال (Pascal) : ويرمز له (P_a) ($1 P_a = 1 N/m^2$) ، (كيلو باسكال = kP_a) ،

(ميجا باسكال = MPa) ($1 MPa = 1 N/mm^2$)

- ضغط مطلق (absolute pressure) ويرمز له p_{sia} (بوحدة باوند / بوصة مربعة)
- ضغط مقياسى (Gauge pressure) ويرمز له p_{sig} ($p_{sia} = 14.7 + p_{sig}$)

2- درجة الحرارة (Temperature)

ويرمز لها بالرمز (T)

هى خاصية تعيين درجة برودة أو سخونة مائع المنظومة

وحداتها : ^0C لدرجات الحرارة العادية المقاسة بالترمومتر الزئبقى

K لدرجات الحرارة المطلقة (absolute) حيث أن :

درجة الحرارة المطلقة = درجة الحرارة العادية + 273^0

3- الحجم النوعى (specific volume)

ويرمز له بالرمز (v)

هو حجم المائع (Fluid) (على شكل مياه أو بخار) المناظر لوحدة الكتلة وتكون وحدة الحجم النوعى هى (m^3/kg) أو ($ft^3/1b$) $\left(\text{الحجم النوعى} = \frac{1}{\text{الكثافة}}\right)$

4- الطاقة الداخلية (Internal energy)

ويرمز له بالرمز (u)

هى الطاقة الحرارية (Thermal energy) المخزونة فى المائع نتيجة تسخينه (أى حركة جزيئاته وتغيير الأوضاع النسبية لها)

5- الانثالبيا Enthalpy

ويرمز لها بالرمز (h)

خاصية محسوبة للمادة ، تعرف فى بعض الأحيان تعريفا بسيطا بأنها " محتوى الحرارة الكلية " . وإذا شئنا نصا أدق للتعريف ، فالانثالبيا لكتلة معلومة من مادة ما عند أية حالة ثرموديناميكية محددة هى تعبير عن الحرارة الكلية التى يلزم نقلها إلى المادة التى تصل إلى الحالة المحددة من حالة ابتدائية معينة مأخوذة اختياريا كنقطة الصفر للانثالبيا .

أو هى الطاقة الحرارية والطاقة الميكانيكية المخزونة فى المائع نتيجة تسخينه وسريانه .

وحدة الانثالبيا النوعية (Kj/Kg) كيلو جول / كيلو جرام

أو (Btu/1b) الوحدة الحرارية البريطانية/باوند

6- الانتروبيا Entropy

ويرمز لها بالرمز (s)

الانتروبيا لكتلة معلومة من مادة عند أية حالة منصوص عليها هى تعبير عن الحرارة الكلية المنقولة إلى المادة ، لكل درجة حرارة مطلقة ، كى توصل المادة إلى تلك الحالة من حالة ابتدئية معينة مأخوذة كصفر للأنتروبى وتمثل الانتروبيا عادة كنسبة رياضية بين التغير فى محتوى الحرارة وبين درجة الحرارة المطلقة

أو هى خاصية تحدد درجة الفوضى (Degree of disorder) للمنظومات الحرارية ، أى تحدد مدى انحراف العمليات الثرموديناميكية الحقيقية الفعلية عن نظيرتها المثالية .

وحدة الانتروبيا النوعية (Kj/Kg . k) كيلو جول / كيلو جرام درجة كلفن .

7- الحرارة النوعية (specific heat)

هى عبارة عن كمية الحرارة التى يتبادلها المائع مع الوسط المحيط به عندما تتغير درجة حرارة وحدة الكتلة للمائع درجة واحدة . وحدة الحرارة النوعية ($Kj/Kg . ^0k$) أو ($Btu / 1b\ ^0F$)

تكون قيمة الحرارة النوعية مع ثبات الحجم أو ثبات الضغط .

الحرارة النوعية للمياه = 4.19 كيلو جول لكل كيلو جرام درجة

الحرارة النوعية للبخار المحمص تتراوح بين 1.884 إلى 2.512 كيلو جول لكل كيلو جرام درجة

يلخص جدول (3-3) رموز الخواص المستخدمة لكل من المياه والبخار المشبعين والتبخر والبخار المحمص :

جدول (3-3)

الخاصية	المياه المشبع	البخار المشبع	التبخر	البخار المحمص (فوق درجة حرارة التشبع)
الحجم النوعى	v_f	v_g		v
الطاقة الداخلية	u_f	u_g	$u_{fg}= u_f - u_g$	u
الانثالبيا	h_f	h_g	$h_{fg}= h_f - h_g$	h
الانتروبيا	s_f	s_g	$s_{fg}= s_f - s_g$	s

ويوضح جدول (4-3) قيم الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة الاستخدام

جدول(3-4)

الحرارة النوعية لبعض المواد شائعة الاستخدام

حالة المادة	نوع المادة	الحرارة النوعية Btu / lb.^{0}F	نوع المادة	الحرارة النوعية Btu / lb.^{0}F
المواد الصلبة	الالومنيوم	0.22	حديد زهر	0.49
	اسبستوس	0.20	رصاص	0.03
	أسمنت جاف	0.37	ماغنسيوم	0.25
	طين	0.22	بورسلين	0.26
	أسمنت stone	0.19	مطاط	0.48
	أسمنت cinder	0.18	فضة	0.06
	نحاس	0.09	صلب	0.12
	زجاج	0.20	صفيح	0.05
	ثلج 32 ^{0}F)	0.49	خشب	0.32 - 0.48
المواد السائلة	اسيتون	0.51	لبن	0.9
	كحول،ميثيل (60-70^{o}F)	0.60	نفتالين	0.41
	امونيا (104^{o}F)	1.16	البترول	0.51
	جليكول اثيلين	0.53	زيت الصو يا	0.47
	زيت وقود	0.45	عصير طماطم	0.95
	جلسرين	0.58	المياه	1
المواد الغازية (عند ضغط ثابت)	اسيتون	0.35	ثانى أكسيد الكربون	0.20
	هواء جاف (32-392^{o}F)	0.24	ميثان	0.59
	كحول	0.45	نيتروجين	0.24
	أمونيا	0.54	أوكسجين	0.22

(3-2-1) جداول خواص البخار المشبع عند معرفة درجة الحرارة

Saturated steam : Temperature tables

بمعرفة درجة حرارة البخار المشبع يمكن الحصول على : الضغط - الحجم النوعى - الطاقة الداخلية - الانثالبيا - الانتروبيا وذلك لكل من المياه والبخار المشبعين ، كما فى النموذج التالى .

يوضح الجدولين (3-5),(3-6) خصائص البخار والمياه المشبعين بمعرفة درجة الحرارة (°F)

ويوضح الجدولين (3-7),(3-8) خصائص البخار والمياه المشبعين بمعرفة درجة الحرارة (°C)

درجة الحرارة (T) °C أو F	الضغط (p)	الحجم النوعى m^3 / kg		الطاقة الداخلية kJ / kg			الانثالبيا kJ / kg			الانتروبيا kJ / kg k		
		مياه مشبع v_f	بخار مشبع v_g	مياه مشبع u_f	التبخر u_{fg}	بخار مشبع u_g	مياه مشبع h_f	التبخر h_{fg}	بخار مشبع h_g	مياه مشبع s_f	التبخر s_{fg}	بخار مشبع s_g
- - -												

جدول (3-5) خواص البخار المشبع عند درجة الحرارة °F

Temp	Abs Press.	Specific Volume			Enthalpy			Entropy		
Temp F	Lb Sq In	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor
t	P	v_f	v_{fg}	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
32	0.08854	0.016	3306	3306	0.00	1075.8	1075.8	0.00	2.1877	2.1877
35	0.09995	0.016	2947	2947	3.02	1074.1	1077.1	0.0061	2.1709	2.177
40	0.1217	0.016	2444	2444	8.05	1071.3	1079.3	0.0162	2.1435	2.1597
45	0.14752	0.016	2036.4	2036.4	13.06	1068.4	1081.5	0.0262	2.1167	2.1429
50	0.17811	0.016	1703.2	17.3.2	18.07	1065.6	1083.7	0.0361	2.0903	2.1264
60	0.2563	0.016	1206.6	1206.7	28.06	1059.9	1088	0.0555	2.0393	2.0948
70	0.3631	0.016	867.8	867.9	38.04	1054.3	1092.3	0.0745	1.9902	2.0647
80	0.5069	0.016	633.1	633.1	48.02	1048.6	1096.6	0.0932	1.9428	2.036
90	0.6982	0.016	468	468	57.99	1042.9	1100.9	0.1115	1.8972	2.0087
100	0.9492	0.016	350.3	350.4	67.97	1037.2	1105.2	0.1295	1.8531	1.9826
110	1.2748	0.016	265.3	265.4	77.94	1031.6	1109.5	0.1471	1.8106	1.9577
120	1.6924	0.016	203.25	203.27	87.92	1025.8	1113.7	0.1645	1.7694	1.9339
130	2.2225	0.016	157.32	157.34	97.9	1020	1117.9	0.1816	1.7296	1.9112
140	2.8886	0.016	122.99	123.01	107.9	1014.1	1122	0.1984	1.691	1.8894
150	3.718	0.016	97.06	97.07	117.9	1008.2	1126.1	0.2149	1.6537	1.8685
160	4.741	0.016	77.27	77.29	127.9	1002.3	1130.2	0.2311	1.6174	1.8485
170	5.992	0.016	62.04	62.06	137.9	996.3	1134.2	0.2472	1.5822	1.8293
180	7.51	0.017	50.21	50.23	147.9	990.2	1138.1	0.263	1.548	1.8109
190	9.339	0.017	40.94	40.96	158	984.1	1142	0.2785	1.5147	1.7932
200	11.526	0.017	33.62	33.64	168	977.9	1145.9	0.2938	1.487	1.7762
210	14.123	0.017	27.8	27.82	178.1	971.6	1149.7	0.309	1.4508	1.7598
212	14.696	0.017	26.78	26.8	180.1	970.3	1150.4	0.312	1.4446	1.7566
220	17.186	0.017	23.13	23.15	188.1	965.2	1153.4	0.3239	1.4201	1.744
230	20.78	0.017	19.365	19.382	198.2	958.8	1157	0.3387	1.3901	1.7288
240	24.969	0.017	16.306	16.323	208.3	952.2	1160.5	0.3531	1.3609	1.714
250	29.825	0.017	13.804	13.821	218.5	945.5	1164	0.3675	1.323	1.6998
260	35.429	0.107	11.746	11.763	228.6	938.7	1167.3	0.3817	1.3043	1.686
270	41.858	0.017	10.044	10.061	238.8	931.8	1170.6	0.3958	1.2769	1.6727
280	49.203	0.017	8.628	8.645	249.1	924.7	1173.8	0.4096	1.2501	1.6597
290	57.556	0.017	7.444	7.461	259.3	917.5	1176.8	0.4234	1.2238	1.6472
300	67.013	0.017	6.449	6.466	269.6	910.1	1179.7	0.4369	1.198	1.635
320	89.66	0.018	4.896	4.914	290.3	894.9	1185.2	0.4637	1.1478	1.6115
340	118.01	0.018	3.77	3.788	311.1	879	1190.1	0.49	1.0992	1.5891
360	153.04	0.018	2.939	2.957	332.2	862.2	1194.4	0.5158	1.0519	1.5677
380	195.77	0.018	2.317	2.335	353.5	844.6	1198.1	0.5413	1.0059	1.5471
400	247.31	0.019	1.8447	1.8633	375	826	1201	0.5664	0.9608	5272
420	308.83	0.019	1.4811	1.5	396.8	806.3	1203.1	0.5912	0.9166	1.5078
440	381.59	0.019	1.1979	1.2171	418.9	785.4	1204.3	0.6158	0.873	1.4887
460	466.9	0.02	0.9748	0.9944	441.4	763.2	1204.6	0.6402	0.8298	1.47
480	566.1	0.02	0.7972	0.8172	464.4	739.4	1203.7	0.6645	0.7868	1.4513
500	680.8	0.02	0.6545	0.6749	487.8	713.9	1201.7	0.6887	0.7438	1.4325
520	812.4	0.021	0.5385	0.5594	511.9	686.4	1198.2	0.713	0.7006	1.4136
540	962.5	0.022	0.4434	0.4649	536.6	656.6	1193.2	0.7374	0.6568	1.3942
560	1133.1	0.022	0.3647	0.3868	562.2	624.2	1186.4	0.7621	0.6121	1.3742
580	1325.8	0.023	0.2989	0.3217	588.9	588.4	1177.3	0.7872	0.5659	1.3532
600	1542.9	0.024	0.2432	0.2668	617	548.5	1165.5	0.8131	0.5176	1.3307
620	1786.6	0.025	0.1955	0.2201	646.7	503.6	1150.3	0.8398	0.4664	1.3062
640	2059.7	0.026	0.1538	0.1798	678.6	452	1130.5	0.8679	0.411	1.2789
660	2365.4	0.028	0.1165	0.1442	714.2	390.2	1104.4	0.8987	0.3485	1.2472
680	2708.1	0.031	0.081	0.1115	757.3	309.9	1067.2	0.9351	0.2719	1.2071
700	3093.7	0.037	0.0392	0.0761	823.3	172.1	995.4	0.9905	0.1484	1.1389
705.4	3206.2	0.05	0	0.0503	902.7	0	902.7	1.058	0	1.058

h in Btu/lb - s in Btu/lb °F - v in ft³/lb

(ادارة طلب الطاقة-١)

جدول (3-6)

خواص البخار المشبع عند معرفة درجة الحرارة (^0F)

Temp t (^0F)	Abs Press. P (psi)	Specific Volume: Sat. Liquid v_f	Specific Volume: Evap. v_{fg}	Specific Volume: Sat. Vapor v_g	Enthalpy: Sat. Liquid h_f	Enthalpy: Evap. h_{fg}	Enthalpy: Sat. Vapor h_g	Entropy: Sat. Liquid s_f	Entropy: Evap. s_{fg}	Entropy: Sat. Vapor s_g
				Temperture Table						
32.00	0.08859	0.02	3304.7	3304.7	0.018	1075.5	1075.5	0.00	2.1873	2.1873
34.00	0.096	0.02	3061.9	3061.9	1.996	1074.4	1076.4	0.0041	2.1762	2.1802
36.00	0.10395	0.02	2839	2839	4.008	1034.2	1077.2	0.0081	2.1651	2.1732
38.00	0.11249	0.02	2634.1	2634.2	6.018	1072.1	1078.1	0.0122	2.1541	2.1663
40.00	0.12163	0.02	2445.8	2445.8	8.027	1071	1079	0.0162	2.1432	2.1594
42.00	0.13143	0.02	2272.4	2272.4	10.04	1069.8	1079.9	0.0202	2.1325	2.1527
44.00	0.14192	0.02	2112.8	2112.8	12.04	1068.7	1080.7	0.0242	2.1217	2.1459
46.00	0.15314	0.02	1965.7	1965.7	14.05	1067.6	1081.6	0.0282	2.1111	2.1393
48.00	0.16514	0.02	1830	1830	16.05	1066.4	1082.5	0.0321	2.1006	2.1327
50.00	0.17796	0.02	1704.8	1704.8	18.05	1065.3	1083.4	0.0361	2.0901	2.1262
52.00	0.19165	0.02	1589.2	1589.2	20.06	1064.2	1084.2	0.04	2.0798	2.1197
54.00	0.20625	0.02	1482.4	1482.4	22.06	1063.1	1085.1	0.0439	2.0695	2.1134
56.00	0.22183	0.02	1383.6	1383.6	24.06	1061.9	1086	0.0478	2.0593	2.107
58.00	0.23843	0.02	1292.2	1292.2	26.06	1060.8	1086.9	0.0516	2.0491	2.1008
60.00	0.25611	0.02	1207.6	1207.6	28.06	1059.7	1087.7	0.0555	2.0391	2.0946
62.00	0.27494	0.02	1129.2	1129.2	30.06	1058.5	1088.6	0.0593	2.0291	2.0885
64.00	0.29497	0.02	1056.5	1056.5	32.06	1057.4	1089.5	0.0632	2.0192	2.0824
66.00	0.31626	0.02	989	989.1	34.06	1056.3	1090.4	0.067	2.0094	2.0764
68.00	0.33889	0.02	926.5	926.5	36.05	1055.2	1091.2	0.0708	1.9996	2.0704
70.00	0.36292	0.02	868.3	868.4	38.05	1054	1092.1	0.0745	1.99	2.0645
72.00	0.38844	0.02	814.3	814.3	40.05	1052.9	1093	0.0783	1.9804	2.0587
74.00	0.4155	0.02	764.1	764.1	42.05	1051.8	1093.8	0.0821	1.9708	2.0529
76.00	0.4442	0.02	717.4	717.4	44.04	1050.7	1094.7	0.0858	1.9614	2.0472
78.00	0.47461	0.02	673.8	673.9	46.04	1049.5	1095.6	0.0895	1.952	2.0415
80.00	0.50683	0.02	633.3	633.3	84.04	1048.4	1096.4	0.0932	1.9426	2.0359
82.00	0.54093	0.02	595.5	595.5	50.03	1047.3	1097.3	0.0969	1.9334	2.0303
84.00	0.57702	0.02	560.3	560.3	52.03	1046.1	1098.2	0.1006	1.9242	2.0248
86.00	0.61518	0.02	227.5	527.5	54.03	1045	1099	0.1043	1.9551	2.0193
88.00	0.65551	0.02	496.8	496.8	56.02	1043.9	1099.9	0.1079	1.906	2.0139

v ft^3/lb

h Btu/lb

s Btu/lb ^0F

تابع جدول (3-6)

Temp t (F⁰)	Abs Press. P (psi)	Specific Volume Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Enthalpy Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Entropy Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
90	0.69813	0.016099	468.1	468.1	58.018	1042.7	1100.8	0.1115	1.897	2.0086
92	0.74313	0.016105	441.3	441.3	60.014	1041.6	1101.6	0.1152	1.8881	2.0033
94	0.79062	0.016111	416.3	416.3	62.01	1040.5	1102.5	0.1188	1.8792	1.998
96	0.84072	0.016117	392.8	392.9	64.006	1039.3	1103.3	0.1224	1.8704	1.9928
98	0.89356	0.016123	370.9	370.9	66.003	1038.2	1104.2	0.126	1.8617	1.9876
100	0.94924	0.01613	350.4	350.4	67.999	1037.1	1105.1	0.1295	1.853	1.9825
102	1.00789	0.016137	331.1	331.1	69.995	1035.9	1105.9	0.1331	1.8444	1.9775
104	1.06965	0.016144	313.1	313.1	71.992	1034.8	1106.8	0.1366	1.8358	1.9725
106	1.1347	0.016151	296.16	296.18	73.99	1033.6	1107.6	0.1402	1.8273	1.9675
108	1.203	0.016158	280.28	280.3	75.98	1032.5	1108.5	0.1437	1.8188	1.9626
110	1.275	0.016165	265.37	265.39	77.98	1031.4	1109.3	0.1472	1.8105	1.9577
112	1.3505	0.016173	251.37	251.38	79.98	1030.2	1110.2	0.1507	1.8021	1.9528
114	1.4299	0.01618	238.21	238.22	81.97	1029.1	1111	0.1542	1.7938	1.948
116	1.5133	0.016188	225.84	225.85	83.97	1027.9	1111.9	0.1577	1.7856	1.9433
118	1.6009	0.016196	214.2	214.21	85.97	1026.8	1112.7	0.1611	1.7774	1.9386
120	1.6927	0.016204	203.25	203.26	87.97	1025.6	1113.6	0.1646	1.7693	1.9339
122	1.7891	0.016213	192.94	192.95	89.96	1024.5	1114.4	0.168	1.7613	1.9293
124	1.8901	0.016221	183.23	183.24	91.96	1023.3	1115.3	0.1715	1.7533	1.9247
126	1.9959	0.016229	174.08	174.09	93.96	1022.2	1116.1	0.1749	1.7453	1.9202
128	2.1068	0.016238	165.45	165.47	95.96	1021	1117	0.1783	1.7374	1.9157
130	2.223	0.016247	157.32	157.33	97.96	1019.8	1117.8	0.1817	1.7295	1.9112
132	2.3445	0.016256	149.64	149.66	99.95	1018.7	1118.6	0.1851	1.7217	1.9068
134	2.4717	0.016265	142.4	142.41	101.95	1017.5	1119.5	0.1884	1.714	1.9024
136	2.6047	0.016274	135.55	135.57	103.95	1016.4	1120.3	0.1918	1.7063	1.898
138	2.7438	0.016284	129.09	129.11	105.95	1015.2	1121.1	0.1951	1.6986	1.8937
140	2.8892	0.016293	122.98	123	107.95	1014	1122	0.1985	1.691	1.8895
142	3.0411	0.01[illegible]	117.21	117.22	109.95	1012.9	1122.8	0.2048	1.6534	1.8852
144	3.1997	0.016312	111.74	111.76	111.95	1011.7	1123.6	0.2051	1.6759	1.881
146	3.3653	0.016322	106.58	106.59	113.95	1010.5	1124.5	0.2084	1.6684	1.8769
148	3.5381	0.016332	101.68	101.7	115.95	1009.3	1125.3	0.2117	1.661	1.8727
150	3.7184	0.016343	97.05	97.07	117.95	1008.2	1126.1	0.215	1.6536	1.8686
152	3.9065	0.016353	92.66	92.68	119.95	1007	1126.9	0.2183	1.6463	1.8646
154	4.1025	0.016363	88.5	88.52	121.95	1005.8	1127.7	0.2216	1.639	1.8606
156	4.3068	0.016374	84.56	84.57	123.95	1004.6	1128.6	0.2248	1.6318	1.8566
158	4.5197	0.016384	80.82	80.83	125.96	1003.4	1129.4	0.2281	1.6245	1.8526
160	4.7414	0.016395	77.27	77.29	127.96	1002.2	1130.2	0.2313	1.6174	1.8487
162	4.9722	0.016406	73.9	73.92	129.96	1001	1131	0.2345	1.6103	1.8448
164	5.2124	0.016417	70,7	70.72	131.96	999.8	1131.8	0.2377	1.6032	1.8409
166	5.4623	0.016428	67.67	67.68	133.97	998.6	1132.6	0.2409	1.5961	1.8371
168	5.7223	0.01644	64.78	64.8	135.97	997.4	1133.4	0.2441	1.5892	1.8333
170	5.9926	0.016451	62.04	62.06	137.97	996.2	1134.2	0.2473	1.5822	1.8295
172	6.2736	0.016463	59.43	59.45	139.98	995	1135	0.2505	1.5753	1.8258
174	6.5656	0.016474	56.95	56.97	141.98	993.8	1135.8	0.2537	1.5684	1.8221
176	6.869	0.016486	54.59	54.61	143.99	992.6	1136.6	0.2568	1.5616	1.8184
178	7.184	0.016498	52.35	52.36	145.99	991.4	1137.4	0.26	1.5548	1.8147
180	7.511	0.01651	50.21	50.22	148	990.2	1138.2	0.2631	1.548	1.8111
182	7.85	0.016522	48.172	18.189	150.01	989	1139	0.2662	1.5413	1.8075
184	8.203	0.016534	46.232	46.249	152.01	987.8	1139.8	0.2694	1.5346	1.804
186	8.568	0.016547	44.383	44.4	154.02	986.5	1140.5	0.2725	1.5279	1.8004
188	8.947	0.016559	42.621	42.638	156.03	985.3	1141.3	0.2726	1.5213	1.7969
190	9.34	0.016572	40.941	40.957	158.04	984.1	1142.1	0.2787	1.5148	1.7934
192	9.747	0.016585	39.337	39.354	160.05	982.8	1142.9	0.2818	1.5082	1.79
194	10.168	0.016598	37.808	37.824	162.05	981.6	1143.7	0.2848	1.5017	1.7865
196	10.605	0.016611	36.348	36.364	164.06	980.4	1144.4	0.2879	1.4952	1.7831
198	11.058	0.016624	34.954	34.97	166.08	979.1	1145.2	0.291	1.4888	1.7798
200	11.526	0.016637	33.622	33.639	168.09	977.9	1146	0.294	1.4824	1.7764
204	12.512	0.016664	31.135	31.151	172.11	975.4	1147.5	0.3001	1.4697	1.7698
208	13.568	0.016691	28.861	28.878	176.14	972.8	1149	0.3061	1.4571	1.7632
212	14.696	0.016719	26.782	26.799	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568
216	15.901	0.016747	24.878	24.894	184.2	967.8	1152	0.3181	1.4323	1.7505
220	19.186	0.016775	23.131	23.148	188.23	965.2	1153.4	0.3241	1.4201	1.7442
224	18.556	0.016805	21.529	21.545	192.27	962.6	1154.9	0.33	1.4081	1.738

تابع جدول (3-6)

Temp t (F⁰)	Abs Press. P (psi)	Specific Volume Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Enthalpy Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Entropy Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
228	20.015	0.016834	20.056	20.073	196.31	960	1156.3	0.3359	1.3961	1.732
232	21.567	0.016864	18.701	18.718	200.35	957.4	1157.8	0.3417	1.3842	1.726
236	23.216	0.016895	17.454	17.471	204.4	954.8	1159.2	0.3476	1.3725	1.7201
240	24.968	0.016926	16.304	16.321	208.45	952.1	1160.6	0.3533	1.3609	1.7142
244	26.826	0.016958	15.243	15.26	212.5	949.5	1162	0.3591	1.3494	1.7085
248	28.796	0.01699	14.264	14.281	216.56	946.8	1163.4	0.3649	1.3379	1.7028
252	30.883	0.017022	13.358	13.375	220.62	944.1	1164.7	0.3706	1.3266	1.6972
256	33.091	0.017055	12.52	12.538	224.69	941.4	1166.1	0.3763	1.3154	1.6917
260	35.427	0.017089	11.745	11.762	228.76	938.6	1167.4	0.3819	1.3043	1.6862
264	37.894	0.017123	11.025	11.042	232.83	935.9	1168.7	0.3876	1.2933	1.6808
268	40.5	0.017157	10.358	10.375	236.91	933.1	1170	0.3932	1.2823	1.6755
272	34.249	0.017193	9.738	9.755	240.99	930.3	1171.3	0.3987	1.2715	1.6702
276	46.147	0.017228	9.162	9.18	245.08	927.5	1172.5	0.4043	1.2607	1.665
280	49.2	0.017264	8.627	8.644	249.17	924.6	1173.8	0.4098	1.2501	1.6599
284	52.414	0.0173	8.128	8.1453	253.3	921.7	1175	0.4154	1.2395	1.6548
288	55.795	0.01734	7.6634	7.6807	257.4	918.8	1176.2	0.4208	1.229	1.6498
292	59.35	0.01738	7.2301	7.2475	261.5	915.9	1177.4	0.4263	1.2186	1.6449
296	63.084	0.01741	6.8259	6.8433	265.6	913	1178.6	0.4317	1.2082	1.64
300	67.005	0.01745	6.4483	6.4658	269.7	910	1179.7	0.4372	1.1979	1.6351
304	71.119	0.01749	6.0955	6.113	273.8	907	1180.9	0.4426	1.1877	1.6303
308	75.433	0.01753	5.7655	5.783	278	904	1182	0.4479	1.1776	1.6256
312	79.953	0.01757	5.4566	5.4742	282.1	901	1183.1	0.4533	1.1676	1.6209
316	84.688	0.01761	5.1673	5.1849	286.3	897.9	1184.1	0.4586	1.1576	1.6162
320	89.643	0.01766	4.8961	4.9138	290.4	894.8	1185.2	0.464	1.1477	1.6116
324	94.826	0.0177	4.6418	4.6595	294.6	891.6	1186.2	0.4692	1.1378	1.6071
328	100.245	0.01774	4.403	4.4208	298.7	888.5	1187.2	0.4745	1.128	1.6025
332	105.907	0.01779	4.1788	4.1966	302.9	885.3	1188.2	0.4798	1.1183	1.5981
336	111.82	0.01783	3.9681	3.9859	307.1	882.1	1189.2	0.485	1.1086	1.5936
340	117.992	0.01787	3.7699	3.7878	311.3	878.8	1190.1	0.4902	1.099	1.5892
344	124.43	0.01792	3.5834	3.6013	315.5	875.5	1191	0.4954	1.0894	1.5849
348	131.142	0.01797	3.4078	3.4258	319.7	872.2	1191.1	0.5006	1.0799	1.5806
352	138.138	0.01801	3.2423	3.2603	323.9	868.9	1192.7	0.5058	1.0705	1.5763
356	145.424	0.01806	3.0863	3.1044	328.1	865.5	1193.6	0.511	1.0611	1.5721
360	153.01	0.01811	2.9392	2.9573	332.3	862.1	1194.4	0.5161	1.0517	1.5678
364	160.903	0.01816	2.8002	2.8184	336.5	858.6	1195.2	0.5212	1.0424	1.5637
368	169.113	0.01821	2.6691	2.6873	340.8	855.1	1195.9	0.5263	1.0332	1.5595
372	177.648	0.01826	2.5451	2.5633	345	851.6	1196.7	0.5314	1.024	1.5554
376	186.517	0.01831	2.4279	2.4462	349.3	848.1	1197.4	0.5365	1.0148	1.5513
380	195.729	0.01836	2.317	2.3353	353.6	844.5	1198	0.5416	1.0057	1.5473
384	205.294	0.01842	2.212	2.2304	357.9	840.8	1198.7	0.5466	0.9966	1.5432
388	215.22	0.01847	2.1126	2.1311	362.2	837.2	1199.3	0.5516	0.9876	1.5392
392	225.516	0.01853	2.0184	2.0369	366.5	833.4	1199.9	0.5567	0.9786	1.5352
396	236.193	0.01858	1.9291	1.9477	370.8	829.7	1200.4	0.5617	0.9696	1.5313
400	247.259	0.01864	1.8444	1.863	375.1	825.9	1201	0.5667	0.9607	1.5274
404	258.725	0.0187	1.764	1.7827	379.4	822	1201.5	0.5717	0.9518	1.5234
408	270.6	0.01875	1.6877	1.7064	383.8	818.2	1201.9	0.5766	0.9429	1.5195
412	282.894	0.01881	1.6152	1.634	388.1	814.2	1202.4	0.5816	0.9341	1.5157
416	295.617	0.01887	1.5463	1.5651	392.5	810.2	1202.8	0.5866	0.9253	1.5118
420	308.78	0.01894	1.4808	1.4997	396.9	806.2	1203.1	0.5915	0.9165	1.508
424	322.391	0.019	1.4184	1.4374	401.3	802.2	1203.5	0.5964	0.9077	1.5042
428	366.463	0.01906	1.3591	1.3782	405.7	798	1203.7	0.6014	0.899	1.5004
432	351	0.01913	1.30266	1.32179	410.1	793.9	1204	0.6063	0.8903	1.4966
436	366.03	0.01919	1.24887	1.26806	414.6	789.7	1204.2	0.6112	0.8816	1.4928
440	381.54	0.01926	1.19761	1.21687	419	785.4	1204.4	0.6161	0.8729	1.489
444	397.56	0.01933	1.14874	1.16806	423.5	781.1	1204.6	0.621	0.8643	1.4853
448	414.09	0.0194	1.10212	1.12152	428	776.7	1204.7	0.6259	0.8557	1.4815
452	431.14	0.01947	1.05764	1.07711	432.5	772.3	1204.8	0.6308	0.8471	1.4778
456	448.73	0.01954	1.01518	1.03472	437	767.8	1204.8	0.6356	0.8385	1.4741
460	466.87	0.01961	0.97463	0.99424	441.5	763.2	1204.8	0.6405	0.8299	1.4704
464	485.56	0.01969	0.93588	0.95557	446.1	758.6	1204.7	0.6454	0.8213	1.4667
468	504.83	0.01976	0.89885	0.91862	450.7	754	1204.6	0.6502	0.8127	1.4629
472	524.67	0.01984	0.86345	0.88329	455.2	749.3	1204.5	0.6551	0.8042	1.4592

تابع جدول (3-6)

Temp	Abs	Specific Volume			Enthalpy			Entropy		
Temp t (F^0)	Press. P (psi)	Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
476	545.11	0.01992	0.82958	0.8495	459.9	744.5	1204.3	0.6599	0.7956	1.4555
480	566.15	0.02	0.79716	0.81717	464.5	739.6	1204.1	0.6648	0.7871	1.4518
484	587.81	0.02009	0.76613	0.78622	469.1	734.7	1203.8	0.6696	0.7785	1.4481
488	610.1	0.02017	0.73641	0.75658	473.8	729.7	1203.5	0.6745	0.77	1.4444
492	633.03	0.02026	0.70794	0.7282	478.6	724.6	1203.1	0.6793	0.7614	1.4407
496	656.61	0.02034	0.68065	0.701	483.2	719.5	1202.7	0.6842	0.7528	1.437
500	680.86	0.02043	0.65448	0.67492	487.9	714.3	1202.2	0.689	0.7443	1.4333
504	705.78	0.02053	0.62938	0.64991	492.7	709	1201.7	0.6939	0.7357	1.4296
508	731.4	0.02062	0.6053	0.62592	497.5	703.7	1201.1	0.6987	0.7271	1.4258
512	757.72	0.02072	0.58218	0.60289	502.3	698.2	1200.5	0.7036	0.7185	1.4221
516	784.76	0.02081	0.55997	0.58079	507.1	692.7	1199.8	0.7085	0.7099	1.4183
520	812.53	0.02091	0.53864	0.55956	512	687	1199	0.7133	0.7013	1.4146
524	841.04	0.02102	0.51814	0.53916	516.9	681.3	1198.2	0.7182	0.6926	1.4108
528	870.31	0.02112	0.49843	0.51955	521.8	675.5	1197.3	0.7231	0.6839	1.407
532	900.34	0.02123	0.47947	0.5007	526.8	669.6	1196.4	0.728	0.6752	1.4032
536	931.17	0.02134	0.46123	0.48257	531.7	663.6	1195.4	0.7329	0.6665	1.3993
540	962.79	0.02146	0.44367	0.46513	536.8	657.5	1194.3	0.7378	0.6577	1.3954
544	995.22	0.02157	0.42677	0.44834	541.8	651.3	1193.1	0.7427	0.6489	1.3915
548	1028.49	0.02169	0.41048	0.43217	546.9	645	1191.9	0.7476	0.64	1.3876
552	1062.59	0.02182	0.39479	0.4166	552	638.5	1190.6	0.7525	0.6311	1.3837
556	1097.55	0.02194	0.37966	0.4016	557.2	632	1189.2	0.7575	0.6222	1.3797
560	1133.38	0.02207	0.36507	0.38714	562.4	625.3	1187.7	0.7625	0.6132	1.3757
564	1170.1	0.02221	0.35099	0.3732	567.6	618.5	1186.1	0.7674	0.6041	1.3716
568	1207.72	0.02235	0.33741	0.35975	572.9	611.5	1184.5	0.7725	0.595	1.3675
572	1246.26	0.02249	0.32429	0.34678	578.3	604.5	1182.7	0.7775	0.5859	1.3634
576	1285.74	0.02264	0.31162	0.33426	583.7	597.2	1180.9	0.7825	0.5766	1.3592
580	1326.17	0.02279	0.29937	0.32216	589.1	589.9	1179	0.7876	0.5673	1.355
584	1367.7	0.02295	0.28753	0.31048	594.6	582.4	1176.9	0.7927	0.558	1.3507
588	1410	0.02311	0.27608	0.29919	600.1	574.7	1174.8	0.7978	0.5485	1.3464
592	1453.3	0.02328	0.26499	0.28827	605.7	566.8	1172.6	0.803	0.539	1.342
596	1497.8	0.02345	0.25425	0.2777	611.4	558.8	1170.2	0.8082	0.5293	1.3375
600	1543.2	0.02364	0.24384	0.26747	617.1	550.6	1167.7	0.8134	0.5196	1.333
604	1589.7	0.02382	0.23374	0.25757	622.9	542.2	1165.1	0.8187	0.5097	1.3284
608	1637.3	0.02402	0.22394	0.24796	628.8	533.6	1162.4	0.824	0.4997	1.3238
612	1686.1	0.02422	0.21442	0.23865	634.8	524.7	1159.5	0.8294	0.4896	1.319
616	1735.9	0.02444	0.20516	0.2296	640.8	515.6	1156.4	0.8348	0.4794	1.3141
620	1786.9	0.02466	0.19615	0.22081	646.9	506.3	1153.2	0.8403	0.4689	1.3092
624	1839	0.02489	0.18737	0.21226	653.1	496.6	1149.8	0.8458	0.4583	1.3041
628	1892.4	0.02514	0.1788	0.20394	659.5	486.7	1146.1	0.8514	0.4474	1.2988
632	1947	0.02539	0.17044	0.19583	665.9	476.4	1142.2	0.8571	0.4364	1.2934
636	2002.8	0.02566	0.16226	0.18792	672.4	465.7	1138.1	0.8628	0.4251	1.2879
640	2059.9	0.02595	0.15427	0.18021	679.1	454.6	1133.7	0.8686	0.4134	1.2821
644	2118.3	0.02625	0.14644	0.17269	685.9	443.1	1129	0.8746	0.4015	1.2761
648	2178.1	0.02657	0.13876	0.16534	692.9	431.1	1124	0.8806	0.3893	1.2699
652	2239.2	0.02691	0.13124	0.15816	700	418.7	1118.7	0.8868	0.3767	1.2634
656	2301.7	0.02728	0.12387	0.15115	707.4	405.7	1113.1	0.8931	0.3637	1.2567
660	2365.7	0.02768	0.11663	0.14431	714.9	392.1	1107	0.8995	0.3502	1.2498
664	2431.1	0.02811	0.10947	0.13757	722.9	377.7	1100.6	0.9064	0.3361	1.2425
668	2498.1	0.02858	0.10229	0.13087	731.5	362.1	1093.5	0.9137	0.321	1.2347
672	2566.6	0.02911	0.09514	0.12424	740.2	345.7	1085.9	0.9212	0.3054	1.2266
676	2636.8	0.0297	0.08799	0.11769	749.2	328.5	1077.6	0.9287	0.2892	1.2179
680	2708.6	0.03037	0.0808	0.11117	758.5	310.1	1068.5	0.9365	0.272	1.2086
684	2782.1	0.03114	0.07349	0.10463	768.2	290.2	1058.4	0.9447	0.2537	1.1984
688	2857.4	0.03204	0.06595	0.09799	778.8	268.2	1047	0.9535	0.2337	1.1872
692	2934.5	0.03313	0.05797	0.0911	790.5	243.1	1033.6	0.9634	0.211	1.1744
696	3013.4	0.03455	0.04916	0.08371	804.4	212.8	1017.2	0.9749	0.1841	1.1591
700	3094.3	0.03662	0.03857	0.07519	822.4	172.7	995.2	0.9901	0.149	1.139
702	3135.5	0.03824	0.03173	0.06997	835	144.7	979.7	1.0006	0.1246	1.1252
704	3177.2	0.04108	0.02192	0.063	854.2	102	956.2	1.0169	0.0876	1.1046
705	3198.3	0.04427	0.01304	0.0573	873	61.4	934.4	1.0329	0.0527	1.0856
705.47b	3208.2	0.05078	0.00	0.05078	906	0.00	906	1.0612	0.00	1.0612

جدول (3-7) خواص البخار المشبع عند معرفة درجة الحرارة (^{0}C)

Temp	Press.	Specific Volu		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat.	Sat.	Sat.		Sat.	Sat.		Sat.	Sat.		Sat.
^{0}C	K Pa	Liquid	Vapor	Liquid	Evap.	Vapor	Liquid	Evap.	Vapor	Liquid	Evap.	Vapor
t	P	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0	0.6109	1	206.278	0.00	2375	2375.3	0.00	2501.4	2501.3	0.00	9.1566	9.157
5	0.8721	1	147.12	20.97	2361	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.026
10	1.2276	1	106.379	42	2347	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.151	8.7498	8.901
15	1.7051	1.001	77.926	62.99	2333	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.781
20	2.339	1.002	57.791	83.95	2319	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	.2966	8.3706	8.667
25	3.169	1.003	43.36	104.88	2305	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.558
30	4.246	1.004	32.894	125.78	2291	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.453
35	5.628	1.006	25.216	146.67	2277	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.353
40	7.384	1.008	19.523	167.66	2263	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.257
45	9.593	1.01	15.258	188.44	2248	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.165
50	12.349	1.012	12.032	209.33	2234	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.076
60	19.94	1.017	7671	251.11	2206	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.91
70	31.19	1.023	5042	292.95	2177	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.755
80	47.39	1.029	3407	334.86	2147	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.612
90	70.14	1.036	2361	376.85	2118	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.479
100	101.35	1.044	1672.9	418.94	2088	2506.5	419.04	2257	2676.1	1.3069	6.048	7.355
110	143.27	1.052	1210.2	461.14	2057	2518.1	461.3	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.239
120	198.53	1.06	891.9	503.5	2026	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.602	7.13
130	270.1	1.07	668.5	546.02	1994	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.027
140	361.3	1.08	508.9	588.74	1961	2550	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.93
150	475.8	1.091	392.8	631.68	1928	2559.5	632.2	2114.3	2746.5	1.8418	4.996	6.838
160	617.8	1.102	307.1	674.87	1894	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.75
170	791.7	1.114	242.8	718.33	1858	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.666
180	1002.1	1.127	194.05	762.09	1822	2583.7	763.22	2015	2778.2	2.1396	4.4461	6.586
190	1254.4	1.141	156.54	806.19	1784	2590	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.272	6.508
200	1553.8	1.157	127.36	850.65	1745	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.432
210	1960.2	1.173	104.41	895.53	1704	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.359
220	2318	1.19	86.19	940.87	1662	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	3.7683	6.286
230	2795	1.209	71.58	986.74	1617	2603.9	990.12	1813.8	2804	2.6099	3.6047	6.215
240	3344	1.229	59.76	1033.21	1571	2604	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.144
250	3973	1.251	50.13	1080.39	1522	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.073
260	4688	1.276	42.21	1128.39	1471	2599	1134.4	1662.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.002
270	5499	1.302	35.64	1177.36	1416	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	2.9551	5.93
280	6412	1.332	30.17	1227.46	1359	2586.1	1236	1543.6	2779.6	3.0668	2.7903	5.857
290	7436	1.366	25.57	1278.92	1297	2576	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	2.6227	5.782
300	8581	1.404	21.67	1332	1231	2563	1344	1404.9	2749	3.2534	2.4511	5.705
310	9856	1.447	18.35	1387.1	1159	2546.4	1401.3	1326	2727.3	3.3493	2.2737	5.623
320	11274	1.499	15.488	1444.6	1081	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.448	2.0882	5.536
330	12845	1.561	12.996	1505.3	993.7	2498.9	1525.3	1140.6	2665.9	3.5507	1.8909	5.442
340	14586	1.638	10.797	1570.3	894.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622	3.6594	1.6763	5.336
350	16513	1.74	8.813	1641.9	776.6	2418.4	1670.6	893.4	2563.9	3.7777	1.4335	5.211
360	186151	1.893	6.945	1725.2	626.3	2351.5	1760.5	720.5	2481	3.9147	1.1379	5.053
370	21030	2.213	4.925	1844	384.5	2228.5	1890.5	441.6	2332.1	4.1106	0.6865	4.792
374.136	22090	3.155	3.155	2029.6	0	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	0	4.43

100 K Pa = 1 Bar = 100000 N/m^2

h in Kj/Kg - s in Kj/Kg ^{0}K - u in Kj/Kg - v in cm^3/gram (or 10^{-3} m^3/Kg)

جدول (8-3)

خواص البخار المشبع عند معرفة درجة الحرارة(^oC)

		Specific Volume m^3 / kg		Internal Energy kJ / kg			Enthalpy kJ / kg			Entropy kJ / kg K		
Temp ^oC T	Press. K Pa P	Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.01	0.6113	0.001	206.14	0.00	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.00	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.151	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001002	57.79	83.95	2319	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.558
30	4.246	0.001004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.01008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.257
45	9.593	0.00101	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.1	2592.1	0.7038	7.3725	8.0761
55	15.758	0.001015	9.508	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.94	0.001017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.00102	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.831
70	31.19	0.001023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001026	4.131	313.90	2162	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.55	0.00104	1.982	397.88	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.25	6.1659	7.4159
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257	2676.1	1.3069	6.048	7.3549
105	0.12082	0.001048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.8	1.363	5.9328	7.2958
110	0.14327	0.001052	1.2102	461.14	2057	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.16906	0.001056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.48	2216.5	2699	1.4734	5.71	7.1833
120	0.19853	0.00106	0.8919	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	5.602	7.1296
125	0.2321	0.001065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.00107	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.313	0.001075	0.5822	567.35	1977.7	2545	567.69	2159.6	2727.3	1.687	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.00108	0.5089	588.74	1961.3	2550	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0226	6.8833
150	0.4758	0.001091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.996	6.8379
155	0.5431	0.001096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.6	2752.4	1.8925	4.901	6.7935
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7507
165	0.7005	0.001108	0.2727	696.56	1876	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.892	0.001121	0.2168	740.17	1840	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001137	0.17409	784.10	1802.9	2587	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001141	0.15654	806.19	1783.8	2590	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	4.272	6.5079
195	1.3978	0.001149	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960	1790	2.2835	4.1863	6.4698
200	1.5538	0.001157	0.12736	850.65	1744.7	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	4.1014	6.4323
205	1.723	0.001164	0.11521	873.04	1724.5	2597.5	875.04	1921	2796	2.378	4.0172	6.3958
210	1.9062	0.001173	0.10441	895.53	1703.9	7599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	3.9337	6.3585

تابع جدول (3-8)

Temp °C T	Press. K Pa P	Specific Volume m³ / kg Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Internal Energy kJ / kg Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Enthalpy kJ / kg Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Entropy kJ / kg K Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
215	2.104	0.001181	0.09479	918.14	1682.9	2601.1	920.62	1879.9	2800.5	2.4714	3.8507	6.3221
220	2.318	0.00119	0.08619	940.87	1661.5	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	3.7683	6.2861
225	2.548	0.001199	0.07849	963.73	1639.6	2603.3	966.78	1836.5	2803.3	2.5639	3.6863	6.2503
230	2.795	0.001209	0.07158	986.74	1617.2	2603.9	990.12	1813.8	2804	2.6099	3.6047	6.2146
235	3.06	0.001219	0.06537	1009.89	1594.2	2604.1	1013.62	1790.5	2804.2	2.6558	3.5233	6.1791
240	3.344	0.001229	0.05976	1033.21	1570.8	2604	1037.32	1766.5	2803.8	2.7015	3.4422	6.1437
245	3.648	0.00124	0.05471	1056.71	1546.7	2603.4	1061.23	1741.7	2803	2.7472	3.3612	6.1083
250	3.973	0.001251	0.05013	1080.39	1522	2602.4	1085.36	1716.2	2801.5	2.7927	3.2802	6.073
255	4.319	0.001263	0.04598	1104.28	1496.7	2600.9	1109.73	1689.8	2799.5	2.8383	3.1992	6.0375
260	4.688	0.001276	0.04221	1128.39	1470.6	2599	1134.37	1662.5	2796.9	2.8838	3.1181	6.0019
265	5.081	0.001289	0.03877	1152.74	1443.9	2596.6	1159.28	1634.4	2793.6	2.9294	3.0368	5.9662
270	5.499	0.001302	0.03564	1177.36	1416.3	2593.7	1184.51	1605.2	2789.7	2.9751	2.9551	5.9501
275	5.942	0.001317	0.03279	1202.25	1387.9	2590.9	1210.07	1574.9	2785	3.0208	2.873	5.8938
280	6.412	0.001332	0.03017	1227.46	1358.7	2586.1	1235.99	1543.6	2779.6	3.0668	2.7903	5.8571
285	6.909	0.001348	0.02777	1253	1328.4	2581.4	1262.31	1511	2773.3	3.113	2.707	5.8199
290	7.436	0.001366	0.02557	1278.92	1297.1	2576	1289.07	1477.1	2766.2	3.1594	2.6227	5.7821
295	7.993	0.001384	0.02354	1305.2	1264.7	2569.9	1316.3	1441.8	2758.1	3.2062	2.5375	5.7437
300	8.581	0.001404	0.02167	1332	1231	2563	1344	1404.9	2749	3.2534	2.4511	5.7045
305	9.202	0.001425	0.019948	1359.3	1195.9	2555.2	1372.4	1366.4	2738.7	3.301	2.3633	5.6643
310	9.856	0.001447	0.01835	1387.1	1159.4	2546.4	1401.3	1326	2727.3	3.3493	2.2737	5.623
315	10.547	0.001472	0.016867	1415.5	1121.1	2536.6	1431	1283.5	2714.5	3.3982	2.1821	5.5804
320	11.274	0.001499	0.015488	1444.6	1080.9	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.448	2.0882	5.5362
330	12.845	0.001561	0.012996	1505.3	993.7	2498.9	1525.3	1140.6	2665.9	3.5507	1.8909	5.4417
340	14.586	0.001638	0.010797	1570.3	894.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622	3.6594	1.6763	5.3357
350	16.513	0.00174	0.008813	1641.9	776.6	2418.4	1670.6	893.4	2563.9	3.7777	1.4335	5.2112
360	18.651	0.001893	0.006945	1725.2	626.3	2351.5	1760.5	720.5	2481	3.9147	1.133	5.0526
370	21.03	0.002213	0.004925	1844	384.5	2228.5	1890.5	441.6	2332.1	4.1106	0.6865	4.7971
374.14	22.09	0.003155	0.003155	2029.6	0	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	0	1.4298

(3-2-2) جداول خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط

Saturated steam : Presure tables

بمعرفة ضغط البخار المشبع يمكن الحصول على : درجة الحرارة - الحجم النوعى - الطاقة الداخلية - الانثالبيا - الانتروبيا وذلك لكل من المياه والبخار المشبعين ، كما فى النموذج التالى .

توضح الجداول (3-9),(3-10),(3-11) خصائص البخار والمياه المشبعين بمعرفة الضغط و عند درجة الحرارة (^oF)

ويوضح الجدولين (3-12),(3-13) خصائص البخار والمياه المشبعين بمعرفة الضغط و عند درجة الحرارة (^oC)

الضغط (p)	درجة الحرارة (T) ^oC أو F	الحجم النوعى m^3/kg		الطاقة الداخلية kJ / kg			الانثالبيا kJ / kg			الانتروبيا kJ / kg k		
		مياه مشبع v_f	بخار مشبع v_g	مياه مشبع u_f	التبخر u_{fg}	بخار مشبع u_g	مياه مشبع h_f	التبخر h_{fg}	بخار مشبع h_g	مياه مشبع s_f	التبخر s_{fg}	بخار مشبع s_g
- - - - - - - -												

(ادارة طلب الطاقة - ١)

جدول (9-3)خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط (درجة الحرارة ^{o}F)

Abs Press.		Specific Volume			Enthalpy			Entropy			Internal Energy	
Lb / Sq In	Temp F	Sat. Liquid	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor
P	t	v_f	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g	u_f	u_{fg}	u_g
1	101.74	0.01614	333.6	69.70	1036.3	1106	0.1326	1.8456	1.9782	69.7	974.6	1044.3
2	126.08	0.01623	173.73	93.99	1022.2	1116.2	0.1749	1.7451	1.92	93.98	957.9	1051.9
3	141.48	0.0163	118.71	109.37	1013.2	1122.6	0.2008	1.6855	1.8863	109.36	947.3	1056.7
4	152.97	0.01636	90.63	120.86	1006.4	1127.3	0.2198	1.6427	1.8625	120.85	939.3	1060.2
5	162.24	0.0164	73.52	130.13	1001	1131.1	0.2347	1.6094	1.8441	130.12	933.00	1063.1
6	170.06	0.01645	61.98	137.96	996.2	1134.2	0.2472	1.582	1.8292	137.94	927.5	1065.4
7	176.85	0.01649	53.64	144.76	992.1	1136.9	0.2581	1.5586	1.8167	144.74	922.7	1067.4
8	182.86	0.01653	47.34	150.79	988.5	1139.3	0.2674	1.5383	1.8057	150.77	918.4	1069.2
9	188.28	0.01656	42.40	156.22	985.2	1141.4	0.2759	1.5203	1.7962	156.19	914.6	1070.8
10	193.21	0.01659	38.42	161.17	982.1	1143.3	0.2835	1.5041	1.7876	161.14	911.1	1072.2
14.696	212.00	0.01672	26.80	180.07	970.3	1150.4	0.312	1.4446	1.7566	180.02	897.5	1077.5
15	213.03	0.01672	26.29	181.11	969.7	1150.8	0.3135	1.4415	1.7549	181.06	896.7	1077.8
20	227.96	0.01168	20.089	196.16	960.1	1156.3	0.3356	1.3962	1.7319	196.1	885.8	1081.9
30	250.33	0.01701	13.746	218.82	945.3	1164.1	0.368	1.3313	1.6993	218.73	869.1	1087.8
40	267.25	0.01715	10.498	236.03	933.7	1169.7	0.3919	1.2844	1.6763	235.9	856.1	1092
50	281.01	0.01727	8.515	250.09	924	1174.1	0.411	1.2474	1.6585	249.93	845.4	1095.3
60	292.71	0.01738	7.175	262.09	915.5	1177.6	0.427	1.2168	1.6436	261.9	836.00	1097.9
70	302.92	0.01748	6.206	272.61	907.9	1180.6	0.4409	1.1906	1.6315	272.38	827.8	1100.2
80	312.03	0.01757	5.472	282.02	901.1	1183.1	0.4531	1.1676	1.6207	281.76	820.3	1102.1
90	320.27	0.01766	4.896	290.56	894.7	1185.3	0.4641	1.1471	1.6112	290.27	813.4	1103.7
100	327.81	0.01774	4.432	298.40	888.8	1187.2	0.474	1.1286	1.6026	298.08	807.1	1105.2
120	341.25	0.01789	3.728	312.44	877.9	1190.4	0.4916	1.0962	1.5878	312.05	795.6	1107.6
140	353.02	0.01802	3.22	324.82	868.2	1193	0.5069	1.0682	1.5751	324.35	785.2	1109.6
160	363.53	0.01815	2.834	335.93	859.2	1195.1	0.5204	1.0436	1.564	335.39	775.8	1111.2
180	373.06	0.01827	2.532	346.03	850.8	1196.9	0.5325	1.0217	1.5542	345.42	797.1	1112.5
200	381.79	0.01839	2.288	355.36	843	1198.4	0.5435	1.0018	1.5453	354.68	759.00	1113.7
250	400.95	0.01865	1.8438	376.00	825.1	1201.1	0.5675	0.9588	1.5263	375.14	740.7	1115.8
300	417.33	0.0189	1.5433	393.84	809	1202.8	0.5879	0.9225	1.5104	392.79	724.3	1117.1
350	431.72	0.01913	1.326	409.69	794.2	1203.9	0.6056	0.891	1.4966	408.45	709.6	1118
400	444.59	0.0193	1.1613	424.00	780.5	1204.5	0.6214	0.863	1.4844	422.6	695.9	1118.5
450	456.28	0.0195	1.032	437.20	767.4	1204.6	0.6356	0.8378	1.4734	435.5	683.2	1118.7
500	467.01	0.0197	0.9278	449.40	755	1204.4	0.6487	0.8147	1.4634	447.6	671.00	1118.6
550	476.93	0.0199	0.8422	460.80	743.1	1203.9	0.6608	0.7937	1.4542	458.8	659.4	1118.2
600	486.21	0.0201	0.7698	471.60	731.6	1203.2	0.672	0.7734	1.4454	469.4	648.3	1117.7
700	503.10	0.0205	0.6554	491.50	709.7	1201.2	0.6925	0.7371	1.4296	488.8	627.5	1116.3
800	518.23	0.0209	0.5687	509.70	688.9	1198.6	0.7108	0.7045	1.4153	506.6	607.8	1114.4
900	531.98	0.0212	0.5006	526.60	668.8	1195.4	0.7275	0.6744	1.402	523.1	589.00	1112.1
1000	544.61	0.0216	0.4456	542.40	649.4	1191.8	0.743	0.6467	1.3897	538.4	571.00	1109.4
1100	556.31	0.022	0.4001	557.40	630.4	1187.8	0.7575	0.6205	1.378	552.9	553.5	1106.4
1200	567.22	0.0223	0.3619	571.70	611.7	1183.4	0.7711	0.5956	1.3667	566.7	536.3	1103
1300	577.46	0.0227	0.3293	585.40	593.2	1178.6	0.784	0.5719	1.3559	580.00	519.4	1099.4
1400	587.10	0.0231	0.3012	598.70	574.7	1173.4	0.7963	0.5491	1.3454	592.7	502.7	1095.4
1500	596.23	0.0235	0.2765	611.60	556.3	1167.9	0.8082	0.5269	1.3351	605.1	486.1	1091.2
2000	635.82	0.0257	0.1878	671.70	463.4	1135.1	0.8619	0.423	1.2849	662.2	403.4	1065.6
2500	668.13	0.0287	0.1307	730.60	560.5	1091.1	0.9126	0.3197	1.2322	717.3	313.3	1030.6
3000	695.36	0.0346	0.0858	802.50	217.8	1020.3	0.9731	0.1885	1.1615	783.4	189.3	972.7
3206.2	705.40	0.0503	0.0503	902.70	0	902.7	1.058	0	1.058	872.9	0	872.9

h in Btu/lb s in Btu/lb ^{o}F v in ft^3/lb

جدول 10-3)

خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط (P_{sia} أو P_{sig}) (درجة الحرارة °F)

(1) Gauge Pressure	(2) Absolute Pressure (Psia)	(3) Steam Temp (°F)	(4) Enthalpy of Sat. Liquid (Btu/lb)	(5) Latent Heat (Btu/lb)	(6) Enthalpy of Steam (Btu/lb)	(7) Specific Volume (ft³/lb)
in vacuum						
29.743	0.08854	32.00	0.00	1075.80	1075.80	3306.00
29.515	0.2	54.14	21.21	1063.80	1085.00	1526.00
27.886	1.00	101.74	69.70	1036.30	1106.00	333.60
19.742	5.00	162.24	130.13	1001.00	1131.10	73.52
9.562	10.00	193.21	161.17	982.10	1143.30	38.42
7.536	11.00	197.75	165.73	979.30	1145.00	35.14
5.49	12.00	201.96	169.96	976.60	1146.60	32.40
3.454	13.00	205.88	173.91	974.20	1148.10	30.06
1.418	14.00	209.56	177.61	971.90	1149.50	28.04
P_{sig}						
0	14.696	212.00	180.07	970.30	1150.40	26.80
1.3	16.00	216.32	184.42	967.60	1152.00	24.75
2.3	17.00	219.44	187.56	965.50	1153.10	23.39
5.3	20.00	227.96	196.16	960.10	1156.30	20.09
10.3	25.00	240.07	208.42	952.10	1160.60	16.30
15.3	30.00	250.33	218.82	945.30	1164.10	13.75
20.3	35.00	259.28	227.91	939.20	1167.10	11.90
25.3	40.00	267.25	236.03	933.70	1169.70	10.50
30.3	45.00	274.44	243.36	928.60	1172.00	9.40
40.3	55.00	287.07	256.30	919.60	1175.90	7.79
50.3	65.00	297.97	267.50	911.60	1179.10	6.66
60.3	75.00	307.60	277.43	904.50	1181.90	5.82
70.3	85.00	316.25	286.39	897.80	1184.20	5.17
80.3	95.00	324.12	294.56	891.70	1186.20	4.65
90.3	105.00	331.36	302.10	886.00	1188.10	4.23
100	114.70	337.90	308.80	880.00	1188.80	3.88
110.3	125.00	344.33	315.68	875.40	1191.10	3.59
120.3	135.00	350.21	321.85	870.60	1192.40	3.33
125.3	140.00	353.02	324.82	868.20	1193.00	3.22
130.3	145.00	355.76	327.70	865.80	1193.50	3.11
140.3	155.00	360.50	333.24	861.30	1194.60	2.92
150.3	165.00	365.99	338.53	857.10	1195.60	2.75
160.3	175.00	370.75	343.57	852.80	1196.50	2.60
180.3	195.00	379.67	353.10	844.90	1198.00	2.34
200.3	215.00	387.89	361.91	837.40	1199.30	2.13
225.3	240.00	397.37	372.12	828.50	1200.60	1.92
250.3	265.00	406.11	381.60	820.10	1201.70	1.74
	300.00	417.33	393.84	809.00	1202.80	1.54
	400.00	444.59	424.00	780.50	1204.50	1.16
	450.00	456.28	437.20	767.40	1204.60	1.03
	500.00	467.01	449.40	755.00	1204.40	0.93
	600.00	486.21	471.60	731.60	1203.20	0.77
	900.00	531.98	526.60	668.80	1195.40	0.50
	1200.00	567.22	571.70	611.70	1183.40	0.36
	1500.00	596.23	611.60	556.30	1167.90	0.28
	1700.00	613.15	636.30	519.60	1155.90	0.24
	2000.00	635.82	671.70	463.40	1135.10	0.19
	2500.00	668.13	730.60	360.50	1091.10	0.13
	2700.00	679.55	656.20	312.10	1068.30	0.11
	3206.20	705.40	902.70	0.00	902.70	0.05

(ادارة طلب الطاقة-١)

جدول (3-11)خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط (درجة الحرارة °F)

Temp t (°F)	Abs. Press. P (psi)	Specific Volume: Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Enthalpy: Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Entropy: Sat. Liquid s_f	Evap. S_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.0887	32.018	0.016022	3302.4	3302.4	0.0003	1075.5	1075.5	0	2.1872	2.1872
0.25	59.323	0.016032	1235.5	1235.5	27.382	1060.1	1087.4	0.0542	2.0425	2.0967
0.50	79.586	0.016071	641.5	641.5	47.623	1048.6	1096.3	0.0925	1.9446	2.037
1.00	101.74	0.016136	333.59	333.6	69.73	1036.1	1105.8	0.1326	1.8455	1.9781
5.00	162.24	0.016407	73.515	73.532	130.20	1000.9	1131.1	0.2349	1.6094	1.8443
10.00	193.21	0.016592	38.404	38.42	161.26	982.1	1143.3	0.2836	1.5043	1.7879
14.696	212.00	0.016719	26.782	26.799	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568
15.00	213.03	0.01626	26.274	26.29	181.21	969.7	1150.9	0.3137	1.4415	1.7552
20.00	227.96	0.016834	20.07	20.087	196.27	960.1	1156.3	0.3358	1.3962	1.732
30.00	250.34	0.017009	13.7266	13.7436	218.90	945.2	1164.1	0.3682	1.3313	1.6995
40	267.25	0.017151	10.4794	10.4965	236.1	933.6	1169.8	0.3921	1.2844	1.6765
50	281.02	0.017274	8.4967	8.514	250.2	923.9	1174.1	0.4112	1.2474	1.6586
60	292.71	0.017383	7.1562	7.1736	262.2	915.4	1177.6	0.4273	1.2167	1.644
70	302.93	0.017482	6.1875	6.205	272.7	907.8	1180.6	0.4411	1.1905	1.6316
80	312.04	0.017573	5.4536	5.4711	282.1	900.9	1183.1	0.4534	1.1675	1.6208
90	320.28	0.017659	4.8779	4.8953	290.7	894.6	1185.3	0.4643	1.147	1.6113
100	327.82	0.01774	4.4133	4.431	298.5	888.6	1187.2	0.4743	1.1284	1.6027
110	334.79	0.01782	4.0306	4.0484	305.8	883.1	1188.9	0.4834	1.11115	1.595
120	341.27	0.01789	3.7097	3.7275	312.6	877.8	1190.4	0.4919	1.096	1.5879
130	347.33	0.01796	3.4364	3.4544	319	872.8	1191.7	0.4998	1.0815	1.5813
140	353.04	0.01803	3.201	3.219	325	868	1193.00	0.5071	1.0681	1.5752
150	358.43	0.01809	2.9958	3.0139	330.6	863.4	1194.1	0.5141	1.0554	1.5695
160	363.55	0.01815	2.82	2.8336	336.1	859	1195.1	0.5206	1.0435	1.5641
170	368.42	0.01821	2.6556	2.6738	341.2	854.8	1196.00	0.5269	1.0322	1.5591
180	373.08	0.01827	2.51	2.5312	346.2	850.7	1196.9	0.5328	1.0215	1.5543
190	377.53	0.01833	2.3847	2.403	350.9	846.7	1197.6	0.5384	1.0113	1.5498
200	381.80	0.01839	2.2689	2.2873	355.5	842.8	1198.3	0.5438	1.0016	1.5454
210	385.91	0.01844	2.16373	2.18217	359.9	839.1	1199.00	0.549	0.9923	1.5413
220	389.88	0.0185	2.06779	2.08629	364.2	835.4	1199.6	0.554	0.9834	1.5374
230	393.70	0.01855	1.97991	1.99846	368.3	831.8	1200.1	0.5588	0.9748	1.5336
240	397.39	0.0186	1.89909	1.91769	372.3	828.4	1200.6	0.5634	0.9665	1.5299
250	400.97	0.01865	1.82452	1.84317	376.1	825	1201.1	0.5679	0.9585	1.5264
260	404.44	0.0187	1.75548	1.77418	379.9	821.6	1201.5	0.5722	0.9508	1.523
270	407.80	0.01875	1.69137	1.71013	383.6	818.3	1201.9	0.5764	0.9433	1.5197
280	411.07	0.0188	1.63169	1.65049	387.1	815.1	1202.3	0.5805	0.9361	1.5166
290	414.25	0.01885	1.57597	1.59482	390.6	812	1202.6	0.5844	0.9291	1.5135
300	417.35	0.01889	1.52384	1.54274	394	808.9	1202.9	0.5882	0.9223	1.5105
350	431.73	0.01912	1.30642	1.32554	409.8	794.2	1204.00	0.6059	0.8909	1.4968
400	444.60	0.01934	1.14162	1.16095	424.2	780.4	1204.6	0.6217	0.863	1.4847
450	456.28	0.01954	1.01224	1.03179	437.3	767.5	1204.8	0.636	0.8378	1.4738
500	467.01	0.01975	0.90787	0.92762	449.5	755.1	1204.7	0.649	0.8148	1.4639
550	476.94	0.01994	0.82183	0.84177	460.9	743.3	1204.3	0.6611	0.7936	1.4547
600	486.20	0.02013	0.74962	0.76975	471.7	732	1203.7	0.6723	0.7738	1.4461
650	494.89	0.02032	0.68811	0.70843	481.9	720.9	1202.8	0.6828	0.7552	1.4381
700	503.08	0.0205	0.63505	0.65556	491.6	710.2	1201.8	0.6928	0.7377	1.4304
750	510.84	0.02069	0.5888	0.60949	500.9	699.8	1200.7	0.7022	0.721	1.4232
800	518.21	0.02087	0.54809	0.56896	509.8	689.6	1199.4	0.7111	0.7051	1.4163
850	525.24	0.02105	0.51197	0.53302	518.4	679.5	1198.00	0.7197	0.6899	1.4096
900	531.95	0.02123	0.47968	0.50091	526.7	669.7	1196.4	0.7279	0.6753	1.4032
950	538.39	0.02141	0.45064	0.47205	534.7	660	1194.7	0.7358	0.6612	1.397
1000	544.58	0.02159	0.42436	0.44596	542.6	650.4	1192.9	0.7434	0.6476	1.391
1050	550.53	0.02177	0.40047	0.42224	550.1	640.9	1191.00	0.7507	0.6344	1.3851

تابع جدول (3-11)

Temp t (^{0}F)	Abs. Press. P (Psi)	Specific Volume Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Enthalpy Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Entropy Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
1100	556.28	0.02195	0.37863	0.40058	557.5	631.5	1189.1	0.7578	0.6216	1.3794
1150	561.82	0.02214	0.35859	0.38073	564.8	622.2	1187.00	0.7647	0.6091	1.3738
1200	567.19	0.02232	0.34013	0.36245	571.9	613	1184.8	0.7714	0.5969	1.3683
1250	572.38	0.0225	0.32306	0.34556	578.8	603.8	1182.6	0.778	0.585	1.363
1300	577.42	0.02269	0.30722	0.32991	585.6	594.6	1180.2	0.7843	0.5733	1.3577
1350	582.32	0.02288	0.2925	0.31537	592.3	585.4	1177.8	0.7906	0.562	1.3525
1400	587.07	0.02307	0.27871	0.30178	598.8	576.5	1175.3	0.7699	0.5507	1.3474
1450	591.70	0.02327	0.26584	0.28911	605.3	567.4	1172.8	0.8026	0.5397	1.3423
1500	596.20	0.02346	0.25372	0.27719	611.7	558.4	1170.1	0.8085	0.5288	1.3373
1550	600.59	0.02366	0.24235	0.26601	618	549.4	1167.4	0.8142	0.5182	1.3324
1600	604.87	0.02387	0.23159	0.25545	624.2	540.3	1164.5	0.8199	0.5076	1.3274
1650	609.05	0.02407	0.22143	0.24551	630.4	531.3	1161.6	0.8254	0.4971	1.3225
1700	613.13	0.02428	0.21178	0.23607	636.5	522.2	1158.6	0.8309	0.4867	1.3176
1750	617.12	0.0245	0.20263	0.22713	642.5	513.1	1155.6	0.8363	0.4765	1.3128
1800	621.02	0.02472	0.1939	0.21861	648.5	503.8	1152.3	0.8417	0.4662	1.3079
1850	624.83	0.02495	0.18558	0.21052	654.5	494.6	1149.00	0.847	0.4561	1.303
1900	628.56	0.02517	0.17761	0.20278	660.4	485.2	1145.6	0.8522	0.4459	1.2981
1950	632.22	0.02541	0.16999	0.1954	666.3	475.8	1142.00	0.8574	0.4358	1.2931
2000	635.80	0.02565	0.16266	0.18831	672.1	466.2	1138.3	0.8625	0.4256	1.2881
2100	642.76	0.02615	0.14885	0.17501	683.8	446.7	1130.5	0.8727	0.4053	1.278
2200	649.45	0.02669	0.13603	0.16272	695.5	426.7	1122.2	0.8828	0.3848	1.2676
2300	655.89	0.02727	0.12406	0.15133	707.2	406.00	1113.2	0.8929	0.364	1.2569
2400	662.11	0.0279	0.11287	0.14076	719	384.8	1103.7	0.9031	34.3	1.246
2500	668.11	0.02859	0.10209	0.13068	731.7	361.6	1093.3	0.9139	0.3206	1.2345
2600	673.91	0.02938	0.09172	0.1211	744.5	337.6	1082.00	0.9247	0.2977	1.2225
2700	679.53	0.03029	0.08165	0.11194	757.3	312.3	1069.7	0.9356	0.2741	1.2097
2800	684.96	0.03134	0.07171	0.10305	770.7	285.1	1055.8	0.9468	0.2491	1.1958
2900	690.22	0.03262	0.06158	0.0942	785.1	254.7	1039.8	0.9588	0.2215	1.1803
3000	695.33	0.03428	0.05073	0.085	801.8	218.4	1020.3	0.9728	0.1891	1.1619
3100	700.28	0.03681	0.03771	0.07452	824	169.3	993.3	0.9914	0.146	1.1373
3200	705.08	0.04472	0.01191	0.05663	875.5	56.1	931.6	1.0351	0.0482	1.0832
3208.2	705.47	0.05078	0.00	0.05078	906	0.00	906	1.0612	0.00	1.0612

h in Btu/lb
s in Btu/lb ^{0}F
v in ft^3/lb

جدول (3-12)

خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط (درجة الحرارة °C)

Press.	Temp	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Enthalpy		
		Sat.	Sat.	Sat.		Sat.	Sat.		Sat.	Sat.		Sat.
K Pa	°C	Liquid	Vapor	Liquid	Evap.	Vapor	Liquid	Evap.	Vapor	Liquid	Evap.	Vapor
P	t	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
1.00	6.98	1.0002	129208	29.30	2355.7	2385	29.30	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	1.0007	87980	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.00	17.50	1.0013	67004	73.48	2326	2399.5	73.48	2460	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	1.002	54254	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540	0.312	8.3311	8.6432
3.00	24.08	1.0027	45665	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3545	8.2231	8.5776
4.00	28.96	1.004	34800	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.052	8.4746
5.00	32.88	1.0053	28192	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.50	40.29	1.0079	19238	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406	2574.8	0.5764	7.675	8.2515
10	45.81	1.0102	14674	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	1.0141	10022	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	1.0172	7649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.832	7.0766	7.9085
25	64.97	1.0199	6204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30	69.10	1.0223	5229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	1.0265	3993	317.53	2159.5	2477	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.67
50	81.33	1.03	3240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.091	6.5029	7.5939
75	91.78	1.0373	2217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663	1.213	6.2434	7.4564
100	99.63	1.0432	1694	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
125	105.99	1.0483	1374.9	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241	2685.4	1.374	5.9104	7.2844
150	111.37	1.0528	1159.3	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
175	116.06	1.0568	1003.6	486.8	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
200	120.23	1.0605	885.7	504.49	2025	2529.5	504.7	2201.9	2706.7	1.5301	5.597	7.1271
225	124.00	1.064	793.3	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
250	127.44	1.0672	718.7	535.10	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0527
275	130.60	1.0703	657.3	548.59	1991.9	2540.5	548.89	2172.4	2721.3	1.6408	5.3801	7.0209
300	133.55	1.0732	605.8	561.15	1982.4	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	5.3201	6.9919
325	136.30	1.0759	562	572.90	1973.5	2546.4	573.25	2155.8	2729	1.7006	5.2646	6.9652
350	138.88	1.0786	524.3	583.95	1965	2548.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	5.213	6.9405
375	141.32	1.0811	491.4	594.4	1956.9	2551.3	594.81	2140.8	2735.6	1.7528	5.1647	6.9175
400	143.63	1.0836	462.5	604.31	1949.3	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	5.1193	6.8959
450	147.93	1.0882	414	622.77	1934.9	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	5.0359	6.8565
500	151.86	1.0926	374.9	639.68	1921.6	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	4.9606	6.8213
550	155.48	1.0967	342.7	655.32	1909.2	2564.5	655.93	2097	2753	1.8973	4.892	6.7893
600	158.85	1.1006	315.7	669.90	1897.5	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	4.8288	6.76
650	162.01	1.1044	292.7	683.56	1886.5	2570.1	684.28	2076	2760.3	1.9627	4.7703	6.7331
700	164.97	1.108	272.9	696.44	1876.1	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.708
750	167.78	1.1115	255.6	708.64	1866.1	2574.7	709.47	2057	2766.4	2.02	4.6647	6.6847
800	170.43	1.1148	240.4	720.22	1856.6	2576.8	721.11	2048	2769.1	2.0462	4.6166	6.6628
850	172.96	1.1181	227	731.27	1847.4	2578.7	732.22	2039.4	2771.6	2.071	4.5711	6.6421
900	175.38	1.1212	215	741.83	1838.6	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	4.528	6.6226
950	177.69	1.1243	204.2	751.95	1830.2	2582.1	753.02	2023.1	2776.1	2.1172	4.4869	6.6041
1000	179.91	1.1273	194.44	761.68	1822	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	4.4478	6.5865
1100	184.09	1.133	177.53	780.09	1806.3	2586.4	781.34	2000.4	2781.7	2.1792	4.3744	6.5536
1200	187.99	1.1385	163.33	797.29	1791.5	2588.8	798.65	1986.2	2784.8	2.2166	4.3067	6.5233
1300	191.64	1.1438	151.25	813.44	1777.5	2591	814.93	1972.7	2787.6	2.2515	4.2438	6.4953
1400	195.07	1.1489	140.84	828.70	1764.1	2592.8	830.30	1959.7	2790	2.2842	4.185	6.4693
1500	198.32	1.1539	131.77	843.16	1751.3	2594.5	844.89	1947.3	2792.2	2.315	4.1298	6.4448
1750	205.76	1.1656	113.49	876.46	1721.4	2597.8	878.50	1917.9	2796.4	2.3851	4.0044	6.3896

100 KPa = 1 Bar = 100000 N/m^2

h in kJ/kg
s in kJ/kg k°
u in kJ/kg
v in cm3/gram (or $10^{-3} m^3/kg$)

تابع جدول (3-12)

Press. K Pa	Temp °C	Specific Volume		Internal Energy			Enthalpy			Entropy		
		Sat. Liquid	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor	Sat. Liquid	Evap.	Sat. Vapor
P	t	v_f	v_g	u_f	u_{fg}	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
2000	212.42	1.1767	99.63	906.44	1693.8	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	3.8935	6.3409
2250	218.45	1.1872	88.75	933.83	1668.2	2602	936.49	1865.2	2801.7	2.5035	3.7937	6.2972
2500	223.99	1.1973	79.98	959.11	1644	2603.1	962.11	1841	2803.1	2.5547	3.7028	6.2575
3000	233.90	1.2165	66.68	1004.78	1599.3	2604.1	1008.42	1795.7	2804.2	2.6457	3.5412	6.1869
35000	242.60	1.2347	57.07	1045.43	1558.3	2603.7	1049.75	1753.7	2803.4	2.7253	3.40	6.1253
4000	250.40	1.2522	49.78	1082.31	1520	2602.3	1087.31	1714.1	2801.4	2.7964	3.2737	6.0701
5000	263.99	1.2859	39.44	1147.81	1449.3	2597.1	1154.23	1640.1	2794.3	2.9202	3.0532	5.9734
6000	275.64	1.3187	32.44	1205.44	1384.3	2589.7	1213.35	1571	2784.3	3.0267	2.8625	5.8892
7000	285.88	1.3513	27.37	1257.55	1323	2580.5	1267	1505.1	2772.1	3.1211	2.6922	5.8133
8000	295.06	1.3842	23.52	1305.57	1264.2	2569.8	1316.64	1441.3	2758	3.2068	2.5364	5.7432
9000	303.40	1.4178	20.48	1350.51	1207.3	2557.8	1363.26	1378.9	2742.1	3.2858	2.3915	5.6772
10000	311.06	1.4524	18.026	1393.04	1151.4	2544.4	1407.56	1317.1	2724.7	3.3596	2.2544	5.6141
11000	318.15	1.4886	15.987	1433.7	1096	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	2.1233	5.5527
12000	324.75	1.5267	14.263	1473	1040.7	2513.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4962	1.9962	5.4924
13000	330.93	1.5671	12.78	1511.1	985	2496.1	1531.5	1130.7	2662.2	3.5606	1.8718	5.4323
14000	336.75	1.6107	11.485	1548.6	928.2	2476.8	1571.1	1066.5	2637.6	3.6232	1.7485	5.3717
15000	342.24	1.6581	10.337	1585.6	869.8	2455.5	1610.5	1000	2610.5	3.6848	1.6249	5.3098
16000	347.44	1.7107	9.306	1622.7	809	2431.7	1650.1	930.6	2580.6	3.7461	1.4994	5.2455
17000	352.37	1.7702	8.364	1660.2	744.8	2405	1690.3	856.9	2547.2	3.8079	1.3698	5.1777
18000	357.06	1.8397	7.489	1698.9	675.4	2374.3	1732	777.1	2509.1	3.8715	1.2329	5.1044
19000	361.54	1.9243	6.657	1739.9	598.1	2338.1	1776.5	688	2464.5	3.9388	1.0839	5.0228
20000	365.81	2.036	5.834	1785.6	507.5	2293	1826.3	583.4	2409.7	4.0139	0.913	4.9269
21000	369.89	2.207	4.952	1842.1	388.5	2230.6	1888.4	446.2	2334.6	4.1075	0.6938	4.8013
22000	373.80	2.742	3.568	1961.9	125.2	2087.1	2022.2	143.4	2165.6	4.311	0.2216	4.5327
22090	374.14	3.155	3.155	2029.6	0	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	0	4.4298

h in kJ/kg
s in kJ/kg k°
u in kJ/kg
v in cm3/gram (or $10^{-3} m^3/kg$)

100 KPa = 1 Bar = 100000 N/m^2

جدول (3-13)

خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط (درجة الحرارة °C)

		Specific Volume m^3 / Kg		Internal Energy Kj / Kg			Enthalpy Kj / Kg			Entropy Kj / Kg K		
Press. KPa p	Temp ^oC t	Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid U_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.6113	0.01	0.001	206.14	0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0	9.1562	9.1562
1.00	6.98	0.001	129.21	29.3	2355.7	2385	29.3	2484.9	2514.2	0.1059	8.8697	8.9756
1.50	13.03	0.001	87.96	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	0.1957	8.6322	8.8279
2.00	17.50	0.001	67.00	73.48	2326	2399.5	73.48	2460	2533.5	0.2607	8.4629	8.7237
2.50	21.08	0.001	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540	0.312	8.3311	8.6432
3.00	24.08	0.001	45.67	101.01	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	0.3515	8.2231	8.5776
4.00	28.96	0.001	34.8	121.15	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.052	8.4746
5.00	32.88	0.00101	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	0.4764	7.9187	8.3951
7.50	40.29	0.00101	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406	2574.8	0.5764	7.675	8.2515
10.00	45.81	0.00101	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	7.5009	8.1502
15.00	53.97	0.00101	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	0.7549	7.2536	8.0035
20.00	60.06	0.00102	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.4	2358.3	2609.7	0.832	7.0766	1.9085
25.00	61.97	0.00102	6.204	271.9	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	0.8931	6.9383	7.8314
30.00	69.10	0.00102	5.229	289.2	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	6.8247	7.7686
40.00	75.87	0.00103	3.993	317.53	2159.5	2477	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.67
50.00	81.33	0.00103	3.24	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.091	6.5029	7.5939
75.00	91.78	0.00104	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663	1.213	6.2434	7.4564
MPa												
0.10	99.63	0.00104	1.694	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
0.125	105.99	0.00105	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241	2685.4	1.374	5.9104	7.2844
0.15	111.37	0.00105	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
0.175	116.06	0.00106	1.0036	486.8	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
0.20	120.23	0.00106	0.8857	504.49	2025	2529.5	504.7	2201.9	2706.7	1.5301	5.597	7.1271
0.225	124.00	0.00106	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.72	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
0.25	127.44	0.00107	0.7187	535.1	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0521
0.275	130.6	0.00107	0.6573	548.59	1991.9	2540.5	548.89	2172.4	2721.3	1.6408	5.3801	7.0206
0.30	133.55	0.00107	0.6058	561.15	1982.4	2513.6	564.47	2161.8	2725.3	1.6718	5.3201	6.9919
0.325	136.3	0.00108	0.562	572.9	1973.5	2516.4	573.25	2155.8	2729	1.7006	5.2616	6.9652
0.35	138.88	0.00108	0.5243	583.95	1965	2548.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	5.213	6.9405
0.375	141.32	0.00108	0.4914	594.4	1956.9	2551.3	594.81	2140.8	2735.6	1.7528	5.1647	6.9175
0.40	143.63	0.00108	0.4625	604.31	1949.3	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	5.1193	6.8959
0.45	147.93	0.00109	0.414	622.77	1934.9	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	5.0359	6.8565
0.50	151.86	0.00109	0.3749	639.68	1921.6	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	4.9606	6.8213
0.55	155.48	0.0011	0.3427	655.32	1909.2	2564.5	655.93	2097	2753	1.8973	4.892	6.7893
0.60	158.85	0.0011	0.3157	669.9	1897.5	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	4.8288	6.76
0.65	162.01	0.0011	0.2927	683.56	1886.5	2570.1	684.28	2076	2760.3	1.9627	4.7703	6.7331
0.70	164.97	0.00111	0.2729	696.44	1876.1	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	4.7158	6.708
0.75	167.78	0.00111	0.2556	708.64	1866.1	2574.7	709.47	2057	2766.4	2.02	4.6647	6.6847
0.80	170.43	0.00112	0.2404	720.22	1856.6	2576.8	721.11	2048	2769.1	2.0462	4.6166	6.6628
0.85	172.96	0.00112	0.227	731.27	1847.4	2578.7	732.22	2039.4	2771.6	2.071	4.5711	6.6421
0.90	175.38	0.00112	0.215	741.83	1838.6	2580.5	742.83	2031.4	2773.9	2.0946	4.528	6.6226
0.95	177.69	0.00112	0.2042	751.95	1830.2	2582.1	753.02	2023.1	2776.1	2.1172	4.4869	6.6041
1.00	179.91	0.00113	0.19444	761.68	1822	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	4.4478	6.5865
1.10	184.09	0.00113	0.17753	780.09	1806.3	2586.4	781.34	2000.4	2781.7	2.1792	4.3744	6.5536
1.20	187.99	0.00114	0.16333	797.29	1791.5	2588.8	798.65	1986.2	2784.8	2.2166	4.3067	6.5233
1.30	191.64	0.00114	0.15125	813.44	1777.5	2591	814.93	1972.7	2787.6	2.2515	4.2438	6.4953
1.40	195.07	0.00115	0.14084	828.7	1764.1	2592.8	830.3	1959.7	2790	2.2842	4.185	6.4693
1.50	198.32	0.00115	0.13177	843.16	1751.3	2594.5	844.89	1947.3	2792.2	2.315	4.1298	6.4448
1.75	205.76	0.00117	0.11349	8763.46	1721.4	2597.8	878.5	1917.9	2796.4	2.3851	4.0044	6.3896
2.00	212.42	0.00118	0.09963	906.44	1693.8	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	3.8935	6.3409
2.25	218.45	0.00119	0.08875	933.83	1668.2	2602	936.49	1865.2	2801.7	2.5035	3.7937	6.2972
2.50	223.99	0.0012	0.07998	959.11	1644	2603.1	962.11	1841	2803.1	2.5547	3.7028	6.2575
3.00	233.9	0.00122	0.06668	1004.78	1599.3	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	3.5412	6.1869

تابع جدول (3-13)

خواص البخار المشبع عند معرفة الضغط (درجة الحرارة ^{o}C)

Press. MPa p	Temp ^{o}C t	Specific Volume m^3/kg Sat. Liquid v_f	Sat. Vapor v_g	Internal Energy kj / kg Sat. Liquid U_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g	Enthalpy kj / kg Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Entropy kj / kg K Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
3.5	242.60	0.001235	0.05707	1045.43	1558.3	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	3.4	6.1253
4	250.40	0.001252	0.01978	1082.31	1520	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	27964	3.2737	6.0701
5	263.99	0.001286	0.03944	1147.81	1449.3	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	3.0532	5.9734
6	275.64	0.001319	0.01244	1205.44	1384.3	2589.7	1213.4	1571	2784.3	3.0267	2.8625	5.8892
7	285.88	0.001351	0.02737	1257.55	1323	2580.5	1267	1505.1	2772.1	3.1211	2.6922	5.8133
8	295.06	0.001384	0.02352	1305.57	1264.2	2569.8	1316.6	1441.3	2758	3.2068	2.5364	5.7432
9	303.4	0.001418	0.02048	1350.51	1207.3	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	2.3915	5.6772
10	311.06	0.001452	0.018026	1393.04	1151.4	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	2.2544	5.6141
11	318.15	0.001489	0.015987	1433.7	1096	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	2.1233	5.5527
12	324.75	0.001527	0.014263	1473	1040.7	2513.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4962	1.9962	5.4924
13	330.93	0.001567	0.01278	1511.1	985	2496.1	1531.5	1130.7	2662.2	3.5606	1.8718	5.4323
14	336.75	0.001611	0.011485	1548.6	928.2	2476.8	1571.1	1066.5	2637.6	3.6232	1.7485	5.3717
15	342.24	0.001658	0.010337	1585.6	869.8	2455.5	1610.5	1000	2610.5	3.6848	1.6249	5.3098
16	347.44	0.001711	0.009306	1622.7	809	2431.7	1650.1	930.6	2580.6	3.7461	1.4994	5.2455
17	352.37	0.00177	0.008364	1660.2	744.8	2405	1690.3	856.9	2547.2	3.8079	1.3698	5.1777
18	357.06	0.00184	0.007489	1698.9	675.4	2374.3	1732	777.1	2509.1	3.8715	1.2329	5.1044
19	361.54	0.001924	0.006657	1739.9	598.1	2338.1	1776.5	688	2464.5	3.9388	1.0839	5.0228
20	365.81	0.002036	0.005834	1785.6	507.5	2293	1826.3	583.4	2409.7	4.0139	0.913	4.9269
21	369.89	0.002207	0.004952	1842.1	388.5	2230.6	1888.4	446.2	2334.6	4.1075	0.6938	4.8013
22	373.8	0.002742	0.003568	1961.9	125.2	2087.1	2022.2	143.4	2165.6	4.311	0.2216	4.5327
22.09	374.14	0.003155	0.003155	2029.6	0	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	0	4.4298

(3-2-3) جداول خواص البخار المحمص Superheated steam tables or Superheated vapor tables

يجب معرفة كل من الضغط ودرجة الحرارة للنظام لامكانية الحصول على خواص البخار المحمص وهى :

الحجم النوعى – الطاقة الداخلية – الانثالبيا – الانتروبيا .... كما فى النموذج التالى

درجة الحرارة T	الضغط (P) = ...			
	الحجم النوعى v	الطاقة الداخلية u	الانثالبيا h	الانتروبيا s

يوضح الجدولين (3-14) ، (3-15) خواص البخار المحمص عند معرفة درجة الحرارة (F^o) والضغط (P_{si}).

ويوضح الجدولين (3-16) ، (3-17) خواص البخار المحمص عند معرفة درجة الحرارة (C^o) والضغط (MPa،KPa).

جدول (3-14)

خواص البخار المحمص عند معرفة درجة الحرارة (F°) والضغط (Psi)

Abs press (Psi)		Temperature (°F) 100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
1	v	0.0161	392.5	452.3	511.9	371.6	631.1	690.7								
	h	68	1150.2	1195.7	1241.8	1288.6	1336.1	1384.5								
5	v	0.0161	78.14	90.24	102.24	114.21	126.15	138.08	150.01	161.94	173.86	185.78	197.7	209.62	221.63	233.45
	h	68.01	1148.6	1194.8	1241.3	1288.2	1335.9	1384.3	1433.6	1483.7	1534.7	1586.7	1639.6	1693.3	1748	1803.5
10	v	0.0161	38.84	44.98	51.03	57.04	63.03	69.03	74.98	80.94	86.91	92.87	98.84	104.8	110.76	116.72
	h	68.02	1146.6	1193.7	1240.6	1287.8	1335.5	1384	1433.4	1483.5	1534.6	1586.6	1639.5	1693.3	1747.9	1803.4
15	v	0.0161	0.0166	29.899	33.963	37.985	41.986	45.978	49.864	53.946	57.926	61.905	65.882	69.858	73.833	77.807
	h	68.04	168.09	1192.5	1239.9	1287.3	1335.2	1383.8	1433.2	1483.4	1534.5	1586.5	1639.4	1693.2	1747.8	1803.4
20	v	0.0161	0.0166	22.356	25.428	28.457	31.466	34.465	37.458	40.447	43.435	46.42	49.405	52.388	55.37	58.352
	h	68.05	168.11	1191.4	1239.2	1286.9	1334.9	1383.5	1432.9	1483.2	1534.3	1586.3	1639.3	1693.1	1747.8	1803.3
40	v	0.0161	0.0166	11.036	12.624	14.165	15.685	17.195	18.699	20.199	21.697	23.194	24.689	26.183	27.676	29.168
	h	68.1	168.15	1186.6	1236.4	1285	1333.6	1382.5	1432.1	1482.5	1533.7	1585.9	1638.8	1992.7	1747.5	1803
60	v	0.0161	0.0166	7.257	8.354	9.4	10.425	11.438	12.466	13.45	14.452	15.452	16.45	17.448	18.445	19.441
	h	68.15	168.2	1181.6	1233.5	1283.2	1332.3	1381.6	1431.3	1481.8	1533.2	1585.3	1638.4	1692.4	1747.1	1802.8
80	v	0.0161	0.0166	0.0175	6.218	7.018	7.794	8.66	9.319	10.075	10.829	11.581	12.331	13.081	13.829	14.577
	h	68.21	168.24	269.74	1230.5	1281.3	1330.9	1380.5	1430.5	1481.1	1532.6	1584.9	1638	1692	1746.8	1802.5
100	v	0.0161	0.0166	0.0175	4.935	5.558	6.216	6.833	7.443	8.05	8.655	9.258	9.86	10.46	11.06	11.659
	h	68.26	168.29	269.77	1227.4	1279.3	1329.6	1379.5	1429.7	1480.4	1532	1584.4	1637.6	1691.6	1746.5	1802.2
120	v	0.0161	0.0166	0.0175	4.0786	4.6341	5.1637	5.6831	6.1928	6.7006	7.206	7.7096	8.2119	8.713	9.2134	9.713
	h	68.31	168.33	269.81	1224.1	1277.4	1328.1	1378.4	1428.8	1479.8	1531.4	1583.9	1637.1	1691.3	1746.2	1802
140	v	0.0161	0.0166	0.0175	3.4661	3.9526	4.4119	4.8585	5.2995	5.7364	6.1709	6.6036	7.0349	7.4652	7.8946	8.3233
	h	68.37	168.38	269.85	1220.8	1275.3	1326.8	1377.4	1428	1479.1	1530.8	1583.4	1636.7	1690.9	1745.9	1801.7
160	v	0.0161	0.0166	0.0175	3.006	3.4413	3.848	4.242	4.6295	5.0132	5.3945	5.7741	6.1522	6.5293	6.9055	7.2811
	h	68.42	168.42	269.89	1217.4	1273.3	1325.4	1376.4	1427.2	1478.4	1530.3	1582.9	1636.3	1690.5	1745.6	1801.4
180	v	0.0161	0.0166	0.0174	2.6474	3.0433	3.4093	3.7621	4.1084	4.4505	4.7907	5.1289	5.4657	5.8014	6.1363	6.4704
	h	68.47	168.47	269.92	1213.8	1271.2	1324	1375.3	1426.3	1477.7	1529.7	1582.4	1635.9	1690.2	1745.3	1801.2
200	v	0.0161	0.0166	0.0174	2.3598	2.7247	3.0583	3.3783	3.6915	4.0008	4.3077	4.6128	4.9165	5.2191	5.5209	5.8219
	h	68.52	168.51	269.96	1210.1	1269	1322.6	1374.3	1425.6	1477	1529.1	1581.9	1635.4	1689.8	1745	1800.9
250	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	2.1504	2.4662	2.6872	2.941	3.1909	3.4382	3.6837	3.9278	4.1709	4.4131	4.6546
	h	68.66	168.63	270.05	375.1	1263.6	1319	1371.6	1423.4	1475.3	1527.6	1580.6	1634.4	1688.9	1744.2	1800.2
300	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	1.7665	2.0044	2.2263	2.4407	2.6509	2.8585	3.0643	3.2688	3.4721	3.6746	3.8764
	h	68.79	168.74	270.14	375.15	1257.7	1315.2	1368.9	1421.3	1473.6	1526.2	1579.4	1633.3	1688	1743.4	1799.6
350	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	1.4913	1.7028	1.897	2.0832	2.2652	2.4445	2.6219	2.798	2.973	3.1471	3.3205
	h	68.92	168.85	270.24	375.21	1251.5	1311.4	1366.2	1419.2	1471.8	1524.7	1578.2	163.3	1687.1	1742.6	1798.9
400	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0162	1.2841	1.4763	1.6499	1.8151	1.9759	2.1339	2.2901	2.445	2.5987	2.7515	2.9037
	h	69.05	168.97	270.33	375.27	1245.1	1307.4	1363.4	1470.1	1470.1	1523.3	1576.9	1631.2	1686.2	1741.9	1798.2
500	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.9919	1.1584	1.3037	1.4397	1.5708	1.6992	1.8256	1.9507	2.0746	2.1977	2.32
	h	69.32	169.19	270.51	375.38	1231.2	1299.1	1357.7	1412.7	1466.6	1520.3	1574.4	1629.1	1684.4	1740.3	1796.9
600	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.7944	0.9456	1.0726	1.1892	1.3008	1.4093	1.516	1.6211	1.7252	1.8284	1.9309
	h	69.58	169.42	270.7	375.49	1215.9	1290.3	1351.8	1408.3	1463	1517.4	1571.9	1627	1682.6	1738.8	1795.6
700	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.7928	0.9072	1.0102	1.1078	1.2023	1.2948	1.3858	1.4757	1.5647	1.653
	h	69.84	169.65	270.89	375.61	487.83	1281	1345.6	1403.7	1459.4	1514.4	1569.4	1624.8	1680.7	1737.2	1794.3
800	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.6774	0.7828	0.8759	0.9631	1.047	1.1289	1.2093	1.2885	1.3669	1.4446
	h	70.11	169.88	271.07	375.73	487.88	1271.1	1339.2	1399.1	1455.8	1511.4	1566.9	1622.7	1678.9	1736	1792.9
900	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.5869	0.6858	0.7713	0.8504	0.9262	0.9998	1.072	1.143	1.2131	1.2825
	h	70.37	170.1	271.26	375.84	487.83	1260.6	1332.7	1394.4	1452.2	1508.5	1564.4	1620.6	1677.1	1734.1	1791.6
1000	v	0.0161	0.0166	0.0174	0.0186	0.0204	0.5137	0.608	0.6875	0.7603	0.8295	0.8966	0.9622	1.0266	1.0901	1.1529
	h	70.63	170.33	271.44	375.96	487.79	1249.3	1325.9	1389.6	1448.5	1504.4	1561.9	1618.4	167–.3	1732.5	1790.3

جدول (3-15)

جدول البخار المحمص عند معرفة درجة الحرارة (F°) والضغط (Psi)

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
				Temperature													
1	Sh			98.26	148.26	198.26	248.26	298.26	348.26	398.26	498.26	598.26	698.26	798.26	898.26	998.26	1098.3
(101.74)	v	0.01614	333.6	392.5	422.4	452.3	482.1	511.9	541.7	571.5	631.1	690.7	750.3	809.8	869.4	929	988.6
	h	69.73	1105.8	1150.2	1172.9	1195.7	1218.7	1241.8	1265.1	1288.6	1336.1	1384.5	1433.7	1483.8	1534.9	1586.8	1639.7
	s	0.1326	1.9781	2.0509	2.0841	2.1152	2.1445	2.1722	2.1985	2.2237	2.2708	2.3144	2.3144	2.3551	2.3934	2.464	2.4969
5	Sh			37.76	87.76	137.76	187.76	237.76	287.76	337.76	437.76	537.76	637.76	737.76	837.76	937.76	1037.8
(162.24)	v	0.01641	73.53	78.14	84.21	90.24	96.25	102.24	108.23	114.21	126.15	138.08	150.01	161.94	173.86	185.78	197.7
	h	130.20	1131.1	1148.6	1171.7	1194.8	1218	1241.3	1264.7	1288.2	1335.9	1384.3	1433.6	1483.7	1534.7	1586.7	1639.6
	s	0.2349	1.8443	1.8716	1.9054	1.9369	1.9664	1.9943	2.0208	2.046	2.0932	2.1369	2.1776	2.2159	2.2521	2.2866	2.3194
10	Sh			6.79	56.79	106.79	156.79	206.79	256.79	306.79	406.79	506.79	606.79	706.79	806.79	906.79	1006.8
(193.21)	v	0.01659	38.42	38.84	41.93	44.98	48.02	51.03	54.04	57.04	63.03	69.00	74.98	80.94	86.91	92.87	98.84
	h	161.26	1143.3	1146.6	1170.2	1193.7	1217.1	1240.6	1264.1	1287.8	1335.5	1384	1433.4	1483.5	1534.6	1586.6	1639.5
	s	0.2836	1.7879	1.7928	1.8273	1.8273	1.8892	1.9173	1.9439	1.9692	2.0166	2.0603	2.1011	2.1394	2.1757	2.2101	2.243
14.696	Sh				38.00	88.00	138.00	188.00	238.00	288.00	388.00	488.00	588.00	688.00	788.00	888.00	988.00
(212.00)	v	0.0167	26.799		28.42	30.52	32.60	34.67	36.72	38.77	42.86	46.93	51.00	55.06	59.13	63.19	67.25
	h	180.17	1150.5		1168.8	1192.6	1216.3	1239.9	1263.6	1287.4	1335.2	1383.8	1433.2	1483.4	1534.5	1586.5	1639.4
	s	0.3121	1.7568		1.7833	1.8158	1.8459	1.8743	1.901	1.9265	1.9739	2.0177	2.0585	2.0969	2.1332	2.1676	2.2005
15	Sh				36.97	86.97	136.97	186.97	236.97	286.97	386.97	486.97	586.97	686.97	786.97	886.97	986.97
(213.03)	v	0.01673	26.29		27.837	29.899	31.939	33.963	35.977	37.985	41.986	45.978	49.964	53.946	57.926	61.905	65.882
	h	181.21	1150.9		1168.7	1192.5	1216.2	1239.9	1263.6	1287.3	1335.2	1383.8	1433.2	1483.4	1534.5	1586.5	1639.4
	s	0.3137	1.7552		1.7809	1.8134	1.8437	1.872	1.8988	1.9242	1.9717	2.0155	2.0563	2.0946	2.1309	2.1653	2.1982
20	Sh				22.04	72.04	122.04	172.04	222.04	272.04	372.04	472.04	572.04	672.04	772.04	872.04	972.04
(227.96)	v	0.01683	20.087		20.788	22.356	23.90	25.428	26.946	28.457	31.466	34.465	37.458	40.447	43.435	46.42	49.405
	h	196.27	1156.3		1167.1	1191.4	1215.4	1239.2	1263	1286.9	1334.9	1383.5	1432.9	1483.2	1534.3	1586.3	1639.3
	s	0.3358	1.732		1.7475	1.7805	1.8111	1.8397	1.8666	1.8921	1.9397	1.9836	2.0244	2.0628	2.0991	2.1336	2.1982
25	Sh				9.93	59.93	109.93	159.93	209.93	259.93	359.93	459.93	559.93	659.93	759.93	859.93	959.93
(227.96)	v	0.01693	16.301		16.558	17.829	19.076	20.307	21.527	22.74	25.153	27.557	29.954	32.348	34.74	37.13	39.518
	h	208.52	1160.6		1165.6	1190.2	1214.5	1238.5	1262.5	1286.4	1334.6	1383.3	1432.7	1483	1534.2	1586.2	1639.2
	s	0.3535	1.7141		1.7212	1.7547	1.7856	1.8145	1.8415	1.8672	1.9149	1.9588	1.9997	2.0381	2.0744	2.1089	2.1418
30	Sh					49.66	99.66	149.66	199.66	249.66	349.66	449.66	549.66	649.66	749.66	849.66	949.66
(250.34)	v	0.01701	13.744			14.81	15.859	16.892	17.914	18.929	20.945	22.951	24952	26.949	28.943	30.936	32.927
	h	218.93	1164.1			1189	1213.6	1237.8	1261.9	1286	1334.2	1383	1432.5	1482.8	1534	1586.1	1639
	s	0.3682	1.6995			1.7334	1.7647	1.7937	1.821	1.8467	1.8946	1.9386	1.9795	2.0179	2.0543	2.0888	2.1217
35	Sh					40.71	90.71	140.71	190.71	240.71	340.71	440.71	540.71	640.71	740.71	840.71	940.71
(259.29)	v	0.01708	11.896			12.654	13.562	14.453	15.334	16.207	17.939	19.662	21.379	23.092	24.803	26.512	28.22
	h	228.03	1167.1			1187.8	1212.7	1237.1	1261.3	1285.5	1333.9	1382.8	1432.3	1482.7	1533.9	1586	1638.9
	s	0.3809	1.6872			1.7152	1.7468	1.7761	1.8035	1.8294	1.8774	1.9214	1.9624	2.0009	2.0372	2.0717	2.1046
40	Sh					32.75	82.75	132.75	182.75	232.75	332.75	432.75	532.75	632.75	732.75	832.75	932.75
(267.25)	v	0.01715	10.497			11.036	11.838	12.624	13.398	14.165	15.685	19.195	18.699	20.199	21.697	23.194	24.689
	h	236.14	1169.8			1186.6	1211.7	1236.4	1260.8	1285	1333.6	1382.5	1432.1	1482.5	1533.7	1585.8	1638.8
	s	0.3921	1.6765			1.6992	1.7312	1.7608	1.7883	1.8143	1.8624	1.9065	1.9476	1.986	2.0224	2.0569	2.0899
45	Sh					25.56	75.56	125.56	175.56	225.56	325.56	425.56	525.56	625.56	725.56	825.56	925.56
(274.44)	v	0.01721	9.399			9.777	10.497	11.201	11.892	12.577	13.932	15.276	16.614	17.95	19.282	20.613	21.943
	h	243.49	1172.1			1185.4	1210.4	1235.7	1260.2	1284.6	1333.3	1382.3	1431.9	1482.3	1533.6	1585.7	1638.7
	s	0.4021	1.6671			1.6849	1.7173	1.7471	1.7748	1.801	1.8492	1.8934	1.9345	1.973	2.0093	2.0439	2.0768
50	Sh					18.98	68.98	118.98	168.98	218.98	318.98	418.98	518.98	618.98	718.98	818.98	918.98
(281.02)	v	0.01727	8.514			8.769	9.424	10.062	10.688	11.306	12.529	13.741	14.947	16.15	17.35	18.549	19.746
	h	250.21	1174.1			1184.1	1209.9	1234.9	1259.6	1284.1	1332.9	1382	1431.7	1482.2	1533.4	1585.6	1638.6
	s	0.4112	1.6586			1.672	1.7018	1.7349	1.7028	1.789	1.8374	1.8816	1.9227	1.9613	1.9977	2.0322	2.0652
55	Sh					12.93	62.93	112.93	162.93	212.93	312.93	412.93	512.93	612.93	712.93	812.93	112.93
(287.07)	v	0.01733				7.945	8.546	9.13	9.702	10.267	11.381	12.485	13.583	14.677	15.769	16.859	17.948
	h	256.43				1182.9	1208.9	1234.2	1259.1	1283.6	1332.6	1381.8	1431.5	1482	1533.3	1585.5	1638.5
	s	0.4196				1.6601	1.6933	1.7237	1.7518	1.7781	1.8266	1.871	1.9121	1.9507	1.987	2.022	2.055
60	Sh					7.29	57.29	107.29	157.29	207.29	307.29	407.29	507.29	607.29	707.29	807.29	907.29
(292.71)	v	0.01738	7.174			7.257	7.815	8.354	8.881	9.40	10.425	11.438	12.446	13.45	14.452	15.452	16.45
	h	262.21	1177.6			1181.6	1208	1233.5	1258.5	1283.2	1332.3	1381.5	1431.3	1481.8	1533.2	1585.3	1638.4
	s	0.4273	1.644			1.6492	1.6934	1.7134	1.7417	1.7681	1.8168	1.8612	1.9024	1.941	1.9774	2.012	2.045
65	Sh					2.02	52.02	102.02	152.02	202.02	302.02	402.02	502.02	602.02	702.02	802.02	902.02
(297.981)	v	0.01743	6.653			6.675	7.195	7.69	8.186	8.667	9.615	10.552	11.484	12.412	13.337	14.261	15.183
	h	267.63	1179.1			1180.3	1207	1232.7	1257.9	1282.7	1331.9	1381.3	1431.1	1481.6	1533	1585.2	1638.3
	s	0.4344	1.6375			1.639	1.6731	1.704	1.7324	1.759	1.8077	1.8522	1.8935	1.9321	1.9321	1.9685	2.0361
70	Sh						47.07	97.07	147.07	197.07	297.07	397.07	497.07	597.07	697.07	797.07	897.07
(302.93)	v	0.01748	6.205				6.664	7.133	7.59	8.039	8.922	9.793	10.659	11.522	12.382	13.24	14.097
	h	272.74	1180.6				1200	1232	1257.3	1282.2	1331.6	1381	1430.9	1481.5	1532.9	1585.1	1638.2
	s	0.4411	1.6316				1.664	1.6951	1.7237	1.7504	1.7993	1.8439	1.8852	1.9238	1.9603	1.9949	2.0279
75	Sh						42.39	92.39	142.39	192.39	292.39	392.39	492.39	592.39	692.39	792.39	892.39
(307.61)	v	0.01753	5.814				6.204	6.645	7.074	7.494	8.32	9.135	9.945	10.75	11.533	12.355	13.155
	h	277.56	1181.9				1205	1231.2	1256.7	1281.7	1331.3	1380.7	1430.7	1481.3	1532.7	1585	1638.1
	s	0.4474	1.626				1.6554	1.6868	1.7156	1.7424	1.7915	1.8361	1.8774	1.9161	1.9526	1.9526	2.0202

تابع جدول (3-15)

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	350	400	450	500	550	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
				Temperature (°F)													
80	Sh			37.96	87.96	137.96	187.96	237.96	287.96	387.96	487.96	587.96	687.96	787.96	887.96	987.96	1087.96
(312.04)	v	0.01757	5.471	5.801	6.218	6.622	7.018	7.408	7.794	8.56	9.319	10.075	10.829	11.829	12.331	13.081	13.829
	h	282.15	1183.1	1204	1230.5	1256.1	1281.3	1306.2	1330.9	1380.5	1430.5	1481.1	1532.6	1584.9	1638	1692	1746.8
	s	0.4534	1.6208	1.6473	1.679	1.708	1.7349	1.7602	1.7842	1.8289	1.8702	1.9089	1.9454	1.98	2.0131	2.0446	2.075
85	Sh			33.74	83.74	133.74	183.74	233.74	283.74	383.74	483.74	583.74	683.74	783.74	883.74	983.74	1083.74
(316.2)	v	0.01762	5.167	5.445	5.84	6.233	6.597	6.966	7.33	8.052	8.768	9.48	10.19	10.898	11.604	12.31	13.014
	h	286.52	1184.2	1203	1229.7	1255.5	1280.8	1305.8	1330.5	1380.2	1430.3	1481	1532.4	1584.7	1637.9	1691.9	1746.8
	s	0.459	1.6159	1.6396	1.6716	1.7008	1.7279	1.7532	1.777	1.822	1.8634	1.9021	1.9386	1.9386	2.0063	2.0379	2.0682
90	Sh			29.72	79.72	129.72	179.72	229.72	279.72	379.72	479.72	579.72	679.72	779.72	879.72	979.72	1079.72
(320.28)	v	0.01766	4.895	5.128	5.505	5.869	6.223	6.572	6.917	7.60	8.277	8.95	9.621	10.29	10.958	11.625	12.29
	h	290.69	1185.3	1202	1228.9	1254.9	1280.3	1305.4	1330.2	1380	1430.1	1480.8	1532.3	1584.6	1637.8	1691.8	1746.7
	s	0.4643	1.6113	1.6323	1.6646	1.694	1.7212	1.7467	1.7707	1.8156	1.857	1.8957	1.9323	1.9669	2.00	2.0316	2.0619
95	Sh			25.87	75.87	125.87	175.87	225.87	275.87	375.87	475.87	575.87	675.87	775.87	875.87	975.87	1075.87
(324.13)	v	0.0177	4.651	4.845	5.205	5.551	5.889	6.221	6.548	7.196	7.838	8.477	9.113	9.747	10.38	11.012	11.643
	h	294.7	1186.2	1200.9	1228.1	1254.3	1279.8	1305	1329.9	1379.7	1429.9	1480.6	1532.1	1584.5	1637.7	1691.7	1746.6
	s	0.4694	1.6069	1.6253	1.658	1.6876	1.7149	1.7404	1.7645	1.8094	1.8509	1.8897	1.9262	1.9609	1.994	2.0256	2.0559
100	Sh			22.18	72.18	122.18	172.18	222.18	272.18	372.18	472.18	572.18	672.18	772.18	872.18	972.18	1072.18
(327.82)	v	0.01774	4.431	4.59	4.935	5.266	5.588	5.904	6.216	6.833	7.443	8.05	8.655	9.258	9.86	10.46	11.06
	h	298.54	1187.2	1199.9	1227.4	1253.7	1279.3	1304.6	1329.6	1379.5	1429.7	1480.4	1532	1584.4	1637.6	1691.6	1746.5
	s	0.4743	1.6027	1.6187	1.6516	1.6814	1.7088	1.7344	1.7586	1.8036	1.8451	1.8839	1.9205	1.9552	1.9883	2.0199	2.0502
105	Sh			18.63	68.63	118.63	168.63	218.63	268.63	368.63	468.63	568.63	668.63	768.63	868.63	968.63	1068.63
(331.37)	v	0.01778	4.231	4.359	4.69	5.007	5.315	5.617	5.915	6.504	7.086	7.665	8.241	8.816	9.389	9.961	10.532
	h	302.24	1188	1198.8	1126.6	1253.1	1278.8	1304.2	1329.2	1379.2	1429.4	1480.3	1531.8	1584.2	1637.5	1691.5	1746.4
	s	0.479	1.5988	1.6122	1.6455	1.6755	1.7031	1.7288	1.753	1.7981	1.8396	1.8785	1.9151	1.9498	1.9828	2.0145	2.0448
110	Sh			15.21	65.21	115.21	165.21	215.21	265.21	365.21	465.21	565.21	665.21	765.21	865.21	965.21	1065.21
(334.79)	v	0.01782	4.048	4.149	4.468	4.772	5.068	5.357	5.642	6.205	6.761	7.314	7.865	8.413	8.961	9.507	10.053
	h	305.8	1188.9	1197.7	1225.8	1252.5	1278.3	1303.8	1328.9	1379	1429.2	1480.1	1531.7	1584.1	1637.4	1691.4	1746.4
	s	0.4834	1.595	1.6061	1.6396	1.6698	1.6975	1.7233	1.7476	1.7928	1.8344	1.8732	1.9099	1.9446	1.9777	2.0093	2.0397
115	Sh			11.92	61.92	111.92	161.92	211.92	261.92	361.92	461.92	561.92	661.92	761.92	861.92	961.92	1061.92
(338.08)	v	0.01785	3.881	3.957	4.265	4.558	4.841	5.119	5.392	5.932	6.465	6.994	7.521	8.046	8.57	9.093	9.615
	h	309.25	1189.6	1196.7	1225	1251.8	1277.9	1303.3	1328.6	1378.7	1429	1479.9	1531.6	1584	1637.2	1691.4	1746.3
	s	0.4877	1.5913	1.6001	1.634	1.6644	1.6922	1.7181	1.7425	1.7877	1.8294	1.8682	1.9049	1.9396	1.9727	2.0044	2.0347
120	Sh			8.73	58.73	108.73	158.73	208.73	258.73	358.73	458.73	558.73	658.73	758.73	858.73	958.73	1058.73
(341.27)	v	0.01789	3.7275	3.7815	4.0786	4.361	4.6341	4.9009	5.1637	5.6813	6.1928	6.7006	7.206	7.7096	8.2119	8.713	9.2134
	h	312.58	1190.4	1195.6	1224.1	1251.2	1277.4	13.2.9	1328.2	1378.4	1428.8	1479.8	1531.4	1583.9	1637.1	1691.3	1746.2
	s	0.4919	1.5879	1.5943	1.6286	1.6592	1.6872	1.7132	1.7376	1.7829	1.8246	1.8635	1.9001	1.9349	1.968	1.9996	2.03
130	Sh			2.67	52.67	102.67	152.67	202.67	252.67	352.67	452.67	552.67	652.67	752.67	852.67	952.67	1052.67
(347.33)	v	0.01796	3.4544	3.4699	3.7489	4.0129	4.2672	4.5151	4.7589	5.2384	5.7118	6.1814	6.6486	7.114	7.5781	8.0411	8.5033
	h	318.95	1191.7	1193.4	1222.5	1249.9	1276.4	1302.1	1327.5	1377.9	1428.4	1479.4	1531.1	1583.6	1636.9	1691.1	1746.1
	s	0.4998	1.5813	1.5833	1.6182	1.6493	1.6775	1.7037	1.7283	1.7737	1.8155	1.8545	1.8911	1.9259	1.9591	1.9907	2.0211
140	Sh				46.96	96.96	146.96	196.96	246.96	346.96	446.96	546.96	646.96	746.96	846.96	946.96	1046.96
(353.04)	v	0.01803	3.219		3.4661	3.7143	3.9526	4.1844	4.4119	4.8588	5.2995	5.7364	6.1709	6.6036	7.0349	7.4652	7.8946
	h	324.96	1193		1220.8	1248.7	1275.3	1301.3	1326.8	1377.4	1428	1479.1	1530.8	1583.4	1636.7	1690.9	1745.9
	s	0.5071	1.5752		1.6085	1.64	1.6686	1.6949	1.7196	1.7652	1.8071	1.8461	1.8828	1.9176	1.9508	1.9825	2.0129
150	Sh				41.57	91.57	141.57	191.57	241.57	341.57	441.57	541.57	641.57	741.57	841.57	941.57	1041.57
(358.43)	v	0.01809	3.0139		3.2208	3.4555	3.6799	3.8978	4.1112	4.5298	4.9421	5.3507	5.7568	6.1612	6.5642	6.9661	7.3671
	h	330.65	1194.1		1219.1	1247.4	1274.3	1300.5	1326.1	1376.9	1427.6	1478.7	1530.5	1583.1	1636.5	1690.7	1745.7
	s	0.5141	1.5695		1.5993	1.6313	1.6602	1.6867	1.7115	1.7573	1.7992	1.8383	1.8751	1.9099	1.9431	1.9748	2.0052
160	Sh				36.45	86.45	136.45	186.45	236.45	336.45	436.45	536.45	636.45	736.45	836.45	936.45	1036.45
(363.55)	v	0.01815	2.8336		3.006	3.2288	3.4413	3.6469	3.848	4.242	4.6295	5.0132	5.3945	5.7741	6.1522	6.5293	6.9055
	h	336.07	1195.1		1217.4	1246	1273.3	1299.6	1325.4	1376.4	1427.2	1478.4	1530.3	1582.9	1636.3	1690.5	1745.6
	s	0.5206	1.5641		1.5906	1.6231	1.6522	1.679	1.7039	1.7499	1.7919	1.831	1.8678	1.9027	1.9359	1.9676	1.998
170	Sh				31.58	81.58	131.58	181.58	231.58	331.58	431.58	531.58	631.58	731.58	831.58	931.58	1031.58
(368.42)	v	0.01821	2.6738		2.8162	3.0288	3.2306	3.4255	3.6158	3.9879	4.3536	4.7155	5.0749	5.4325	5.7888	6.144	6.4983
	h	341.24	1196		1215.6	1244.7	1272.2	1298.8	1324.7	1375.8	1426.8	1478	1530	1582.6	1636.1	1690.4	1745.4
	s	0.5269	1.5591		1.5873	1.6152	1.6447	1.6717	1.6968	1.7428	1.785	1.8241	1.861	1.8959	1.9291	1.9608	1.9913
180	Sh				26.92	76.92	126.92	176.92	226.92	326.92	426.92	526.92	626.92	726.92	826.92	926.92	1026.92
(373.08)	v	0.01827	2.5312		2.6474	2.8508	3.0433	3.2286	3.4093	3.7621	4.1084	4.4508	4.7907	5.1289	5.4657	5.8014	6.1363
	h	346.19	1196.9		1213.8	1243.4	1271.2	1297.9	1324	1375.3	1426.3	1477.7	1529.7	1582.4	1635.9	1690.2	1745.3
	s	0.5328	1.5543		1.5743	1.6078	1.6376	1.6647	1.69	1.7362	1.7784	1.8176	1.8545	1.8894	1.9227	1.9545	1.9849
190	Sh				22.47	72.47	122.47	172.47	222.47	322.47	422.47	522.47	622.47	722.47	822.47	922.47	1022.47
(377.53)	v	0.01833	2.403		2.4961	2.6915	2.8756	3.0525	3.2246	3.5601	3.8889	4.214	4.5365	4.8572	5.1766	5.4949	5.8124
	h	350.94	1197.6		1212	1242	1270.1	1297.1	1323.3	1374.8	1425.9	1477.4	1529.4	1582.1	1635.7	1690	1745.1
	s	0.5384	1.5498		1.5667	1.6006	1.6307	1.6581	1.6835	1.7299	1.7722	1.8115	1.8484	1.8834	1.9166	1.9484	1.9789
200	Sh				18.20	68.20	118.20	168.20	218.20	318.20	418.20	518.20	618.20	718.20	818.20	918.20	1018.20
(381.80)	v	0.01839	2.2873		2.3598	2.548	2.7247	2.8939	3.0583	3.3783	3.6915	4.0008	4.3077	4.6128	4.9165	5.2191	5.5209
	h	355.51	1198.3		1210.1	1240.6	1269	1296.2	1322.6	1374.3	1425.5	1477	1529.1	1581.9	1635.4	1689.8	1745
	s	0.5438	1.5454		1.5593	1.5938	1.6242	1.6518	1.6733	1.7239	1.7663	1.8057	1.8426	1.8776	1.9109	1.9427	1.9732

تابع جدول (3-15)

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	400	450	500	550	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
				Temperature (F°)													
210	Sh			14.09	64.09	114.09	164.09	214.09	314.09	414.09	514.09	614.09	714.09	814.09	914.09	1014.09	1114.09
(385.91)	v	0.0184	2.1822	2.2364	2.4181	2.588	2.7504	2.9078	3.2137	3.5128	3.808	4.1007	4.3915	4.6811	4.9695	5.2571	5.544
	h	359.91	1199	1208	1239.2	1268	1295.3	1321.9	1373.7	1425.1	1476.7	1528.8	1581.6	1635.2	1689.6	1744.8	1800.8
	s	0.549	1.5413	1.5522	1.5872	1.618	1.6458	1.6715	1.7182	1.7607	1.8001	1.8371	1.8721	1.9054	1.9372	1.9677	1.997
220	Sh			10.12	60.12	110.12	160.12	210.12	310.12	410.12	510.12	610.12	710.12	810.12	910.12	1010.12	1110.12
(389.88)	v	0.0185	2.0863	2.124	2.2999	2.4638	2.6199	2.771	3.0642	3.3504	3.6327	3.9125	4.1905	4.4671	4.7426	5.0173	5.2913
	h	364.17	1199.6	1206.3	1237.8	1266.9	1294.5	1321.2	1373.2	1424.7	1476.3	1528.5	1581.4	1635	1689.4	1744.7	1800.6
	s	0.554	1.5374	1.5453	1.5808	1.612	1.64	1.6658	1.7128	1.7553	1.7848	1.8318	1.8668	1.9002	1.932	1.9625	1.9919
230	Sh			6.3	56.30	106.30	156.30	206.30	306.30	406.30	506.30	606.30	706.30	806.30	906.30	1006.30	1106.30
(393.70)	v	0.0186	1.9985	2.0212	2.1919	2.3503	2.5008	2.6461	2.9279	3.202	3.4726	3.7406	4.0068	4.2717	4.5355	4.7984	5.0606
	h	368.28	1200.1	1204.4	1236.3	1265.7	1293.6	1320.4	1372.7	1424.2	1476	1528.2	1581.1	1634.8	1689.3	1744.5	1800.5
	s	0.5588	1.5336	1.5385	1.5747	1.6062	1.6344	1.6604	1.7075	1.7502	1.7897	1.8268	1.8618	1.8952	1.927	1.9576	1.9869
240	Sh			2.61	52.61	102.61	152.61	202.61	302.61	402.61	502.61	602.61	702.61	802.61	902.61	1002.61	1102.61
(397.39)	v	0.0186	1.9177	1.9268	2.0928	2.2462	2.3915	2.5316	2.8024	3.0661	3.3259	3.5831	3.8385	4.0926	4.3456	4.5977	4.8492
	h	372.27	1200.6	1202.4	1234.9	1264.6	1292.7	1319.7	1372.1	1423.8	1475.6	1527.9	1580.9	1634.6	1689.1	1744.3	1800.4
	s	0.5634	1.5299	1.532	1.5687	1.6006	1.6291	1.6552	1.7025	1.7452	1.7848	1.219	1.857	1.8904	1.9223	1.9528	1.9822
250	Sh				49.03	99.03	149.03	199.03	299.03	399.03	499.03	599.03	699.03	799.03	899.03	999.03	1099.03
(400.97)	v	0.0187	1.8432		2.0016	2.1504	2.2809	2.4262	2.6872	2.941	3.1909	3.4382	3.6837	3.9278	4.1709	4.4131	4.6546
	h	376.14	1201.1		1233.4	1263.5	1291.6	1319	1371.6	1423.4	1475.3	1527.6	1580.6	1634.4	1688.9	1744.2	1800.2
	s	0.5679	1.5264		1.5629	1.5951	1.6239	1.6502	1.6976	1.7405	1.7801	1.8173	1.8524	1.8858	1.9177	1.9482	1.9776
260	Sh				45.56	95.56	145.56	195.56	259.56	395.56	495.56	595.56	695.56	795.56	895.56	995.56	1095.56
(404.44)	v	0.0187	1.7742		1.9173	2.0619	2.1981	2.3289	2.5808	2.8256	3.0663	3.3044	3.5408	3.7758	4.0097	4.2427	4.475
	h	379.9	1201.5		1231.9	1262.4	1290.9	1318.2	1371.1	1423	1474.9	1527.3	1580.4	1634.2	1688.7	1744	1800.1
	s	0.5722	1.523		1.5573	1.5899	1.6189	1.6453	1.693	1.7359	1.7756	1.8128	1.848	1.8814	1.9133	1.9439	1.9732
270	Sh				42.20	92.20	142.20	192.20	292.20	392.20	492.20	592.20	692.20	792.20	892.20	992.20	1092.20
(407.80)	v	0.0188	1.7101		1.8391	1.9799	2.1121	2.2388	2.4824	2.7186	2.9509	3.1806	3.4084	3.6349	3.8603	4.0849	4.3087
	h	383.56	1201.9		1230.4	1261.2	1290	1317.5	1370.5	1422.6	1474.6	1527.1	1580.1	1634	1688.5	1743.9	1800
	s	0.5764	1.5197		1.5518	1.5848	1.614	1.6406	1.6885	1.7315	1.7713	1.8085	1.8437	1.8771	1.909	1.9396	1.969
280	Sh				38.93	88.93	138.93	188.93	288.93	388.93	488.93	588.93	688.93	788.93	888.93	988.93	1088.93
(411.07)	v	0.0188	1.6505		1.7665	1.9037	2.0322	2.1551	2.3909	2.6194	2.8437	3.0655	3.2855	3.5042	3.7217	3.9384	4.1543
	h	387.12	1202.3		1228.8	1260	1289.1	1316.8	1370	1422.1	1474.2	1526.8	1579.9	1633.8	1688.4	1743.7	1799.8
	s	0.5805	1.5166		1.5464	1.5798	1.6093	1.6361	1.6841	1.7273	1.7671	1.8043	1.8395	1.873	1.905	1.9356	1.9649
290	Sh				35.75	85.75	135.75	158.75	285.75	385.75	485.75	585.75	685.75	785.75	885.75	985.75	1085.75
(414.25)	v	0.0189	1.5948		1.6988	1.8327	1.9578	2.0772	2.3058	2.5269	2.744	2.9585	3.1711	3.3824	3.5926	3.8019	4.0106
	h	390.60	1202.6		1227.3	1258.9	1288.1	1316	1369.5	1421.7	1473.9	1526.5	1579.6	1633.5	1688.2	1743.6	1799.7
	s	0.5844	1.5135		1.5412	1.575	1.6048	1.6317	1.6799	1.7232	1.763	1.8003	1.8356	1.869	1.901	1.9316	1.961
300	Sh				32.65	82.65	132.65	182.65	282.65	382.65	482.65	582.65	682.65	782.65	882.65	982.65	1082.65
(417.35)	v	0.0189	1.5427		1.6356	1.7665	1.8883	2.0044	2.2263	2.4407	2.6509	2.8585	3.0643	3.2688	3.4721	3.6746	3.8764
	h	393.99	1202.9		1225.7	1257.7	1287.2	1315.2	1368.9	1421.3	1473.6	1526.2	1579.4	1633.3	1688	1743.4	1799.6
	s	0.5882	1.5105		1.5361	1.5703	1.6003	1.6274	1.6758	1.7192	1.7591	1.7964	1.8317	1.8652	1.8972	1.9278	1.9572
310	Sh				29.64	79.64	129.64	179.64	279.64	379.64	479.64	579.64	679.64	779.64	879.64	979.64	1079.64
(420.36)	v	0.0189	1.4939		1.5763	1.7044	1.8233	1.9363	2.152	2.36	2.5638	2.765	2.9644	3.1625	3.3594	3.5555	3.7509
	h	397.30	1203.2		1224.1	1256.5	1286.3	1314.5	1368.4	1420.9	1473.2	1525.9	1578.2	1633.1	1687.8	1743.3	1799.4
	s	0.592	1.5076		1.5311	1.5657	1.596	1.6233	1.6719	1.7153	1.7553	1.7927	1.828	1.8615	1.8935	1.9241	1.9536
320	Sh				26.69	76.69	126.69	176.69	276.69	376.69	476.69	579.69	676.69	776.69	876.69	976.69	1076.69
(423.31)	v	0.019	1.448		1.5207	1.462	1.7623	1.8725	2.0823	2.2843	2.4821	2.6774	2.8708	3.0628	3.2538	3.4438	3.6332
	h	400.53	1203.4		1222.5	1255.2	1285.3	1313.7	1367.8	1420.5	1472.9	1525.6	1578.9	1632.9	1687.6	1743.1	1799.3
	s	0.5956	1.5048		1.5261	1.5612	1.5918	1.6192	1.668	1.7116	1.7516	1.789	1.8243	1.8579	1.8899	1.9205	1.95
330	Sh				23.82	73.82	123.82	173.82	273.82	373.82	473.82	573.82	673.82	773.82	873.82	973.82	1073.82
(426.18)	v	0.019	1.4048		1.4684	1.5915	1.705	1.8125	2.0168	2.2132	2.4054	2.595	2.7828	2.9692	3.1545	3.3389	3.5227
	h	403.70	1203.6		1220.9	1254	1284.4	1313	1367.3	1420	1472.5	1525.3	1578.7	1632.7	1687.5	1742.9	1799.2
	s	0.5991	1.5021		1.5213	1.5568	1.5876	1.6153	1.6643	1.7079	1.748	1.7855	1.8208	1.8544	1.8864	1.9171	1.9466
340	Sh				21.01	71.01	121.01	171.01	271.01	371.01	471.01	571.01	671.01	771.01	871.01	971.01	1071.01
(428.99)	v	0.0191	1.364		1.4191	1.5399	1.6511	1.7561	1.9552	2.1463	2.3333	2.5175	2.70	2.8811	3.0611	3.2402	3.4186
	h	406.80	1203.8		1219.2	1252.8	1283.4	1312.2	1366.7	1419.6	1472.2	1525	1578.4	1632.5	1687.3	1742.8	1799
	s	0.6026	1.4994		1.5165	1.5525	1.5836	1.6114	1.6606	1.7044	1.7445	1.782	1.8174	1.851	1.8831	1.9138	1.9432
350	Sh				18.27	68.27	118.27	168.27	268.27	368.27	468.27	568.27	668.27	768.27	868.27	968.27	1068.27
(431.73)	v	0.0191	1.3255		1.3725	1.4913	1.6002	1.7028	1.897	2.0832	2.2652	2.4445	2.6219	2.798	2.973	3.1471	3.3205
	h	409.83	1204		1217.5	1251.5	1282.4	1311.4	1366.2	1419.2	1471.8	1524.7	1578.2	1632.3	1687.1	1742.6	1798.9
	s	0.6.59	1.4968		1.511[illegible]	1.5483	1.5797	1.6077	1.6571	1.7009	1.7411	1.7787	1.8141	1.8477	1.8798	1.9105	1.94
36[illegible]	Sh				15.59	65.59	115.59	165.59	265.59	365.59	465.59	565.59	665.59	765.59	865.59	965.59	1065.59
(434[illegible]	v	0.0192	1.2891		1.3285	1.4454	1.5521	1.6525	1.8421	2.0237	2.2009	2.3755	2.5482	2.7196	2.8898	3.0592	3.2279
	h	412.81	1204.1		1215.8	1250.3	1281.5	1310.6	1365.6	1418.7	1471.5	1524.4	1577.9	1632.1	1686.9	1742.5	1798.8
	s	0.6092	1.4943		1.5073	1.5441	1.5758	1.604	1.6536	1.6976	1.7379	1.7754	1.8109	1.8445	1.8766	1.9073	1.9368
380	Sh				10.39	60.39	110.39	160.39	260.39	360.39	460.39	560.39	660.39	760.39	860.39	960.39	1060.39
(439.61)	v	0.0193	1.2218		1.2472	1.3606	1.4635	1.5598	1.741	1.9139	2.0825	2.2484	2.4124	2.575	2.7366	2.8973	3.0572
	h	418.59	1204.4		1212.4	1247.7	1278.5	1309	1364.5	1417.9	1470.8	1523.8	1577.4	1631.6	1686.5	1742.2	1798.5
	s	0.6156	1.4894		1.4982	1.536	1.5683	1.5969	1.647	1.6911	1.7315	1.7692	1.8047	1.8384	1.8705	1.9012	1.9307

تابع جدول (3-15)

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	Temperature (F°) 450	500	550	600	650	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
400	Sh			5.40	55.40	105.40	155.40	205.40	255.40	355.40	455.40	555.40	655.40	755.40	855.40	955.40	1055.40
(444.60)	v	0.0193	1.161	1.1738	1.2841	1.3836	1.4763	1.5646	1.6499	1.8151	1.9759	2.1339	2.2901	2.445	2.5987	2.7515	2.9037
	h	424.17	1205	1208.8	1245.1	1277.5	1307.4	1335.9	1363.4	1417	1470.1	1523.3	1576.9	1631.2	1686.2	1741.9	1798.2
	s	0.6217	1.489	1.4894	1.5282	1.5611	1.5901	1.6163	1.6408	1.685	1.7255	1.7632	1.7988	1.8325	1.8647	1.8955	1.925
420	Sh			0.60	50.60	100.60	150.60	200.60	250.60	350.60	450.60	550.60	650.60	750.60	850.60	950.60	1050.60
(449.40)	v	0.0194	1.106	1.1071	1.2148	1.3113	1.4007	1.4856	1.5876	1.7258	1.8795	2.0304	2.1795	2.3273	2.4739	2.6196	2.7647
	h	429.56	1205	1205.2	1242.4	1275.4	1305.8	1334.5	1362.3	1416.2	1469.4	1522.7	1576.4	1630.8	1685.8	1741.6	1798
	s	0.6276	1.48	1.4808	1.5206	1.5542	1.5835	1.61	1.6345	1.6791	1.7197	1.7575	1.7932	1.8269	1.8591	1.8899	1.9195
440	Sh				45.97	95.97	145.97	195.97	245.97	345.97	445.97	545.97	645.97	745.97	845.97	945.97	1045.97
(454.03)	v	0.0195	1.055		1.1517	1.2454	1.3319	1.4138	1.4926	1.6445	1.7918	1.9363	2.078	2.2203	2.3605	2.4998	2.6384
	h	434.77	1205		1239.7	1273.4	1304.2	1333.2	1361.1	1415.3	1468.7	1522.1	1575.9	1630.4	1685.5	1741.2	1797.7
	s	0.6332	1.476		1.5132	1.5474	1.5772	1.604	1.6286	1.6734	1.7142	1.7521	1.7878	1.8216	1.8538	1.8847	1.9143
460	Sh				41.50	91.50	141.50	191.50	241.50	341.50	441.50	541.50	641.50	741.50	841.50	841.50	1041.50
(458.50)	v	0.0196	1.009		1.0939	1.1852	1.2691	1.3482	1.4242	1.5703	1.7117	1.8504	1.9872	2.1226	2.2569	2.3903	2.523
	h	439.83	1205		1236.9	1271.3	1302.5	1331.8	1360	1414.4	1468	1521.5	1575.4	1629.9	1685.1	1740.9	1797.4
	s	0.6387	1.472		1.506	1.5409	1.5711	1.5982	1.623	1.668	1.7089	1.7469	1.7826	1.8165	1.8488	1.8797	1.9093
480	Sh				37.18	87.18	137.18	187.18	237.18	337.18	437.18	537.18	637.18	737.18	837.18	937.18	1037.2
(462.82)	v	0.0197	0.967		1.0409	1.13	1.2115	1.2881	1.3615	1.5023	1.6384	1.7716	1.903	2.033	2.1619	2.29	2.4173
	h	444.75	1205		1234.1	1269.1	1300.8	1330.5	1358.8	1413.6	1467.3	1520.9	1574.9	1629.5	1684.7	1740.6	1797.2
	s	0.6439	1.468		1.499	1.5346	1.5652	1.5925	1.6176	1.6628	1.7038	1.7419	1.7777	1.8116	1.8439	1.8748	1.9045
500	Sh				32.99	82.99	132.99	182.99	232.99	332.99	432.99	532.99	632.99	732.99	832.99	932.99	1033
(467.01)	v	0.0198	0.928		0.9919	1.0791	1.1584	1.2327	1.3037	1.4397	1.5708	1.6992	1.8256	1.9507	2.0746	2.1977	2.32
	h	449.52	1205		1231.2	1267	1299.1	1329.1	1357.7	1412.7	1466.6	1520.3	1574.4	1629.1	1684.4	1740.3	1796.9
	s	0.649	1.464		1.4921	1.5284	1.5595	1.5871	1.6123	1.6578	1.699	1.7371	1.773	1.8069	1.8393	1.8702	1.8998
520	Sh				28.93	78.93	128.93	178.93	228.93	328.93	428.93	528.93	628.93	728.93	828.93	928.93	1028.93
(471.07)	v	0.0198	0.891		0.9466	1.0321	1.1816	1.1816	1.2504	1.3819	1.5085	1.6323	1.7542	1.8746	1.994	2.1125	2.2302
	h	454.18	1205		1228.3	1264.8	1297.4	1327.7	1356.5	1411.8	1465.9	1519.7	1573.9	1628.7	1684	1740	1796.7
	s	0.654	1.46		1.4853	1.5223	1.5539	1.5818	1.6072	1.653	1.6943	1.7325	1.7684	1.8024	1.8348	1.8657	1.8954
540	Sh				24.99	74.99	124.99	174.99	224.99	324.99	424.99	524.99	624.99	724.99	824.99	924.99	1025
(475.01)	v	0.0199	0.858		0.9045	0.9884	1.084	1.1342	1.201	1.3284	1.4508	1.5704	1.688	1.8042	1.9193	2.0336	2.1471
	h	458.71	1204		1225.3	1262.5	1295.7	1326.3	1355.3	1410.9	1465.1	1519.1	1573.4	1628.2	1683.6	1739.7	1796.4
	s	0.6587	1.457		1.4786	1.5164	1.5485	1.5767	1.6023	1.6483	1.6897	1.728	1.764	1.7981	1.8305	1.8615	1.8911
560	Sh				21.16	71.16	121.16	171.16	221.16	321.16	421.16	521.16	621.16	721.16	821.16	921.16	1021.2
(478.84)	v	0.02	0.826		0.8653	0.9479	1.0217	1.0902	1.1552	1.2787	1.3972	1.5129	1.6266	1.7388	1.85	1.9603	2.0699
	h	463.14	1204		1222.2	1260.3	1293.9	1324.9	1354.2	1410	1464.4	1518.6	1572.9	1627.8	1683.3	1739.4	1796.1
	s	0.6634	1.453		1.472	1.5106	1.5431	1.5717	1.5975	1.6438	1.6853	1.7237	1.7598	1.7939	1.8263	1.8573	1.887
580	Sh				17.43	67.43	117.43	167.43	217.43	317.43	417.43	517.43	617.43	717.43	817.43	917.43	1017.4
(482.57)	v	0.0201	0.797		0.8287	0.91	0.9824	1.0492	1.1125	1.2324	1.3473	1.4593	1.5693	1.678	1.7855	1.8921	1.998
	h	467.47	1204		1219.1	1258	1292.1	1323.4	1353	1409.2	1463.7	1518	1572.4	1627.4	1682.9	1739.1	1795.9
	s	0.6679	1.45		1.4654	1.5049	1.538	1.5668	1.5929	1.6394	1.6811	1.7196	1.7556	1.7898	1.8223	1.8533	1.8831
600	Sh				13.80	63.80	113.80	163.80	213.80	313.80	413.80	513.80	613.80	713.80	813.80	913.80	1013.80
(486.20)	v	0.0201	0.77		0.7944	0.8746	0.9456	1.0109	1.0726	1.1892	1.3008	1.4093	1.516	1.6211	1.7252	1.8284	1.9309
	h	471.70	1204		1215.9	1255.6	1290.3	1322	1351.8	1408.3	1463	1517.4	1571.9	1627	1682.6	1738.8	1795.6
	s	0.6723	1.446		1.459	1.4993	1.5329	1.5621	1.5884	1.6351	1.6769	1.7155	1.7517	1.7859	1.8184	1.8494	1.8792
650	Sh				5.11	55.11	105.11	155.11	205.11	305.11	405.11	505.11	605.11	705.11	805.11	905.11	1005.1
(494.89)	v	0.0203	0.708		0.7173	0.7954	0.8634	0.9254	0.9835	1.0929	1.1969	1.2979	1.3989	1.4944	1.5909	1.6864	1.7813
	h	481.89	1203		1207.6	1249.6	1285.7	1318.3	1348.7	1406	1461.2	1515.9	1570.7	1625.9	1681.6	1738	1794.9
	s	1.6828	1.438		1.443	1.4858	1.5207	1.5507	1.5775	1.6249	1.6671	1.7059	1.7422	1.7765	1.8092	1.8403	1.8701
700	Sh					46.92	96.92	146.92	196.92	296.92	396.92	496.92	596.92	696.92	796.92	896.92	996.92
(503.08)	v	0.0205	0.656			0.7271	0.7928	0.852	0.9072	1.0102	1.1078	1.2023	1.2948	1.3858	1.4757	1.5647	1.653
	h	491.60	1202			1243.4	1281	1314.6	1345.6	1403.7	1459.4	1514.4	1569.4	1624.8	1680.7	1737.2	1794.3
	s	1.6928	1.43			1.4726	1.509	1.5399	1.5673	1.6154	1.658	1.697	1.7335	1.7679	1.8006	1.8318	1.8617
750	Sh					39.16	89.16	139.16	189.16	2[illegible].16	389.16	489.16	589.16	689.16	789.16	889.16	989.16
(510.84)	v	0.0207	0.61			0.6676	0.7313	0.7882	0.8409	0.9386	1.0306	1.1195	1.2063	1.2916	1.3759	1.4592	1.5419
	h	500.89	1201			1236.9	1276.1	1310.7	1342.5	1401.5	1457.6	1512.9	1568.2	1623.8	1679.8	1736.4	1793.6
	s	0.7022	1.423			1.4598	1.4977	1.5296	1.5577	1.6065	1.6494	1.6886	1.7252	1.7598	1.7926	1.8239	1.8538
800	Sh					31.79	81.79	131.79	181.79	281.79	381.79	481.79	581.79	681.79	781.79	881.79	981.79
(518.21)	v	0.0209	0.569			0.6151	0.6774	0.7323	0.7828	0.8759	0.9631	1.047	1.1289	1.2093	1.2885	1.3669	1.4446
	h	509.81	1199			1230.1	1271.1	1306.8	1339.3	1399.1	1455.8	1511.4	1566.9	1622.7	1678.9	1735.7	1792.9
	s	0.7111	1.416			1.4472	1.4869	1.5198	1.5484	1.598	1.6413	1.6807	1.7175	1.7522	1.7851	1.8164	1.8464
850	Sh					24.76	74.76	124.76	174.76	274.76	374.76	474.76	574.76	674.76	774.76	874.76	974.76
(525.24)	v	0.0211	0.533			0.5683	0.6296	0.6829	0.7315	0.8205	0.9034	0.983	1.0606	1.1366	1.2115	1.2855	1.3588
	h	518.40	1198			1223	1265.9	1302.8	1336	1396.8	1454	1510	1565.7	1621.6	1678	1734.9	1792.3
	s	0.7197	1.41			1.4347	1.4763	1.5102	1.5396	1.5899	1.6336	1.6733	1.7102	1.745	1.778	1.8094	1.8395
900	Sh					18.05	68.05	118.05	168.05	268.05	368.05	468.05	568.05	668.05	768.05	868.05	968.05
(531.95)	v	0.0212	0.501			0.5263	0.5869	0.6388	0.6858	0.7713	0.8504	0.9262	0.9998	1.072	1.143	1.2131	1.2825
	h	526.70	1196			1215.5	1260.6	1298.6	1332.7	1394.4	1452.2	1508.5	1564.4	1620.6	1677.1	1734.1	1791.6
	s	0.7279	1.403			1.4223	1.4659	1.501	1.5311	1.5822	1.6263	1.6662	1.7033	1.7382	1.7713	1.8028	1.8329

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	Temperature (F°) 550	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
950	Sh			11.61	61.61	111.61	161.61	211.61	261.61	311.61	361.61	461.61	561.61	661.61	761.61	861.61	961.61
(538.39)	v	0.02141	0.4721	0.4883	0.5485	0.5993	0.6449	0.6871	0.7272	0.7656	0.803	0.8753	0.9455	1.0142	1.0817	1.1484	1.2143
	h	534.74	1194.7	1207.6	1255.1	1294.4	1329.3	1361.5	1392	1421.5	1450.3	1507	1563.2	1619.5	1676.2	1733.3	1791
	s	0.7358	1.397	1.4098	1.4557	1.4921	1.5228	1.55	1.5748	1.5977	1.6193	1.6595	1.6967	1.7317	1.7649	1.7965	1.8267
1000	Sh			5.42	55.42	105.42	155.42	205.42	255.42	305.42	355.42	455.42	555.42	655.42	755.42	855.42	955.42
(544.58)	v	0.02159	0.446	0.4535	0.5137	0.5636	0.608	0.6489	0.6875	0.7245	0.7603	0.8295	0.8966	0.9622	1.0266	1.0901	1.1529
	h	542.55	1192.9	1199.3	1249.3	1290.1	1325.9	1358.7	1389.6	1419.4	1448.5	1505.4	1561.9	1618.4	1675.3	1732.5	1790.3
	s	0.7434	1.391	1.3973	1.4457	1.4833	1.5149	1.5426	1.5677	1.5908	1.6126	1.653	1.6905	1.7256	1.7589	1.7905	1.8207
1050	Sh				49.47	99.47	149.47	199.47	249.47	299.47	349.47	449.47	549.47	649.47	749.47	849.47	949.47
(550.53)	v	0.02177	0.4222		0.4821	0.5312	0.5745	0.6142	0.6515	0.6872	0.7216	0.7881	0.8524	0.9151	0.9767	1.0373	1.0973
	h	550.15	1191		1243.4	1285 .7	1322.4	1355.8	1387.2	1417.3	1446.6	1503.9	1560.7	1617.4	1674.4	1731.8	1789.6
	s	0.7507	1.3851		1.4358	1.4748	1.5072	1.5354	1.5608	1.5842	1.6062	1.6469	1.6845	1.7197	1.7531	1.7848	1.8151
1100	Sh				43.72	93.72	143.72	193.72	243.72	293.72	343.72	443.72	543.72	643.72	743.72	843.72	943.72
(556.28)	v	0.02195	0.4006		0.4531	0.5017	0.544	0.5826	0.6188	0.6533	0.6865	0.7505	0.8121	0.8723	0.9313	0.9894	1.0468
	h	557.55	1189.1		1237.3	1281.2	1318.8	1352.9	1384.7	1415.2	1444.7	1502.4	1559.4	1616.3	1673.5	1731	1789
	s	0.07578	1.3794		1.4259	1.4664	1.4996	1.5284	1.5542	1.5779	1.60	1.641	1.6787	1.7141	1.7475	1.7793	1.8097
1150	Sh				39.18	89.18	139.18	189.18	239.18	289.18	339.18	439.18	539.18	639.18	739.18	839.18	939.18
(561.82)	v	0.02214	0.3807		0.4263	0.4746	0.5162	0.5538	0.5889	0.6223	0.6544	0.7161	0.7754	0.8332	0.8899	0.9456	1.0007
	h	564.78	1187		1230.9	1276.6	1315.2	1349.9	1382.2	1413	1442.8	1500.9	1558.1	1615.2	1672.6	1730.2	1788.3
	s	0.7647	1.3738		1.416	1.4582	1.4923	1.5216	1.5478	1.5717	1.5941	1.6353	1.6732	1.7087	1.7422	1.7741	1.8045
1200	Sh				32.81	82.81	132.81	182.81	232.81	282.81	332.81	432.81	532.81	632.81	732.81	832.81	932.81
(567.19)	v	0.02232	0.3624		0.4016	0.4497	0.4905	0.5273	0.5615	0.5939	0.625	0.6845	0.7418	0.7974	0.8519	0.9055	0.9584
	h	571.85	1184.8		1224.2	1271.8	1311.5	1346.9	1379.7	1410.8	1440.9	1499.4	1556.9	1614.2	1671.6	1729.4	1787.6
	s	0.7714	1.3683		1.4061	1.4501	1.4851	1.515	1.5415	1.5658	1.5883	1.6298	1.6679	1.7035	1.7371	1.7691	1.7996
1300	Sh				22.58	72.58	122.58	172.58	222.58	272.58	322.58	422.58	522.58	622.58	722.58	822.58	922.58
(577.42)	v	0.02269	0.3299		0.357	0.4052	0.4451	0.4804	0.5129	0.5436	0.5729	0.6287	0.6822	0.7341	0.7847	0.8345	0.8836
	h	585.58	1180.2		1209.9	1261.9	1303.9	1340.8	1374.6	1406.4	1437.1	1496.3	1554.3	1612	1669.8	1727.9	1786.3
	s	0.7843	1.3577		1.386	1.434	1.4711	1.5022	1.5296	1.5544	1.5773	1.6194	1.6578	1.6937	1.7275	1.7596	1.7902
1400	Sh				12.93	62.93	112.93	162.93	212.93	262.93	312.93	412.93	512.93	612.93	712.93	812.93	912.93
(587.07)	v	0.02307	0.3018		0.3176	0.3667	0.4059	0.44	0.4712	0.5004	0.5282	0.5809	0.6311	0.6798	0.7272	0.7737	0.8195
	h	598.83	1175.3		1194.1	1251.4	1296.1	1334.5	1369.3	1402	1433.2	1493.2	1551.8	1609.9	1668	1726.3	1785
	s	0.7966	1.3474		1.3652	1.4181	1.4575	1.49	1.5182	1.5436	1.567	1.6096	1.6484	1.6845	1.7185	1.7508	1.7815
1500	Sh				3.80	53.8	103.80	153.80	203.80	253.80	303.80	403.80	503.80	603.80	70.80	803.80	903.80
(596.20)	v	0.02346	0.2772		0.282	0.3328	0.3717	0.4049	0.435	0.4629	0.4894	0.5394	0.5869	0.6327	0.6773	0.721	0.7639
	h	611.68	1170.1		1176.3	1240.2	1287.9	1328	1364	1397.4	1429.2	1490.1	1549.2	1607.7	1666.2	1724.8	1783.7
	s	0.8085	1.3373		1.3431	1.4022	1.4443	1.4782	1.5073	1.5333	1.5572	1.6004	1.6395	1.6759	1.7101	1.7425	1.7734
1600	Sh					45.13	95.13	145.13	195.13	245.13	295.13	395.13	495.13	595.13	695.13	795.13	895.13
(604.87)	v	0.02387	0.2555			0.3026	0.3415	0.3741	0.4032	0.4301	0.4555	0.5031	0.5482	0.5915	0.6336	0.6748	0.7153
	h	624.20	1164.5			1228.3	1279.4	1321.4	1358.5	1392.8	1425.2	1486.9	1546.6	1605.6	1664.3	1723.2	1782.3
	s	0.8199	1.3274			1.3861	1.4312	1.4667	1.4968	1.5235	1.5478	1.5916	1.6312	1.6678	1.7022	1.7347	1.7657
1700	Sh					36.87	86.87	136.87	186.87	236.87	286.87	386.87	486.87	586.87	686.87	786.87	886.87
613.13	v	0.02428	0.2361			0.2754	0.3147	0.3468	0.3751	0.4011	0.4255	0.4711	0.514	0.5552	0.5951	0.6341	0.6724
	h	636.45	1158.6			1215.3	1270.5	1314.5	1352.9	1388.1	1421.2	1483.8	1544	1603.4	1662.5	1721.7	1781
	s	0.8309	1.3176			1.3697	1.4183	1.4555	1.4867	1.514	15388	1.5833	1.6232	1.6601	1.6947	1.7274	1.7585
1800	Sh					28.98	78.98	128.98	178.98	228.98	278.98	378.98	478.98	578.98	678.98	778.98	878.98
(621.02)	v	0.02472	0.2186			0.2505	0.2906	0.3223	0.35	0.3752	0.3988	0.4426	0.4836	0.5229	0.5609	0.598	0.6343
	h	648.49	1152.3			1201.2	1261.1	1307.4	1347.2	1383.3	1417.1	1480.6	1541.4	1601.2	1660.7	1720.1	1779.7
	s	0.8417	1.3079			1.3526	1.4054	1.4446	1.4768	1.5049	1.5302	1.5753	1.6156	1.6528	1.6876	1.7204	1.7516
1900	Sh					21.44	71.44	121.44	171.44	221.44	271.44	371.44	471.44	571.44	671.44	771.44	871.44
(628.56)	v	0.02517	0.2028			0.2274	0.2687	0.3004	0.3275	0.3521	0.3749	0.4171	0.4565	0.494	0.5303	0.5656	0.6002
	h	660.36	1145.6			1185.7	1251.3	1300.2	1341.4	1378.4	1412.9	1477.4	1538.8	1599.1	1658.8	1718.6	1778.4
	s	0.8522	1.2981			1.3346	1.3925	1.4338	1.4672	1.498	1.5219	1.5677	1.6084	1.6458	1.6808	1.7138	1.7451
2000	Sh					214.20	64.20	114.20	164.20	114.20	264.20	364.20	464.20	564.20	664.20	764.20	864.20
(635.80)	v	0.02565	0.1883			0.2056	0.2488	0.2805	0.3072	0.3312	0.3534	0.3942	0.432	0.468	0.5027	0.5365	0.5695
	h	672.11	1138.3			1168.3	1240.9	1292.6	1335.4	1373.5	1408.7	1474.1	1536.2	1596.9	1657	1717	1771.1
	s	0.8625	1.2881			1.3154	1.3794	1.4231	1.4578	1.4874	1.5138	1.5603	1.6014	1.6381	1.6743	1.7075	1.7389
2100	Sh					7.24	57.24	107.24	157.24	207.24	257.24	357.24	457.24	557.24	657.24	757.24	857.24
(642.7[illegible])	v	0.02615	0.175			0.1847	0.2304	0.2624	0.2888	0.3123	0.3339	0.3734	0.4099	0.4445	0.4778	0.5101	0.5418
	h	683.79	1130.5			1148.5	1229.8	1284.9	1329.3	1368.4	1404.4	1470.9	1533.6	1594.7	1655.2	1715.4	1775.7
	s	0.8727	1.278			1.2942	1.3661	1.4125	1.4486	1.479	1.506	1.5532	1.5948	1.6327	1.6681	1.7014	1.733
2200	Sh					0.55	50.55	100.55	150.55	200.55	250.55	350.55	450.55	550.55	650.55	750.55	850.55
([illegible]9.45)	v	0.02669	0.1627			0.1636	0.2134	0.2458	0.272	0.295	0.3161	0.3545	0.3897	0.4231	0.4551	0.4862	0.5165
	h	695.46	1122.2			1123.9	1218	1276.8	1323.1	1363.3	1400	1457.6	1530.9	1592.5	1653.3	1713.9	1774.4
	s	0.8828	1.2676			1.2691	1.3523	1.402	1.4395	1.4708	1.4984	1.563	1.5883	1.6266	1.6622	1.6956	1.7279
2300	Sh						44.11	94.11	144.11	194.11	244.11	344.11	444.11	544.11	644.11	744.11	844.11
(655.89)	v	0.02727	0.1513				0.1975	0.2305	0.2566	0.2793	0.2999	0.3372	0.3714	0.4035	0.4344	0.4643	0.4936
	h	707.18	1113.2				1205.3	1268.4	1316.7	1358.1	1395.7	1464.2	1528.3	1590.3	1651.5	1712.3	1773.1
	s	0.8929	1.2569				1.3381	1.3914	1.4305	1.4628	1.491	1.5397	1.5821	1.6207	1.6565	1.6901	1.7219

تابع جدول (3-15)

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1300	1400	1500
				Temperature (F°)													
2400	Sh			37.89	87.89	137.89	187.89	237.89	287.89	337.89	387.89	437.89	487.89	537.89	637.89	737.89	837.89
(662.11)	v	0.0279	0.01408	0.1824	0.2216	0.2424	0.2648	0.285	0.3037	0.3214	0.3382	0.3545	0.3703	0.3856	0.4155	0.4443	0.4724
	h	718.95	1103.7	1191.6	1259.7	1310.1	1352.8	1391.2	1426.9	1460.9	1493.7	1525.6	1557	1588.1	1649.6	1710.8	1771.8
	s	0.9031	1.246	1.3232	1.3808	1.4217	1.4549	1.4837	1.5095	1.5332	1.5553	1.5761	1.5959	1.6149	1.6509	1.6847	1.7167
2500	Sh			31.89	81.89	131.89	181.89	231.89	281.89	331.89	381.89	431.89	481.89	531.89	631.89	731.89	831.89
(668.11)	v	0.02859	0.1307	0.1681	0.2032	0.2283	0.2514	0.2712	0.2896	0.3068	0.3232	0.339	0.3543	0.3692	0.398	0.4259	0.4529
	h	731.71	1093.3	1176.7	1250.6	1303.4	1347.4	1386.7	1423.1	1457.5	1490.7	1522.9	1554.6	1585.9	1647.8	1709.2	1770.4
	s	0.9139	1.2345	1.3076	1.3701	1.4129	1.4472	1.4766	1.5029	1.5269	1.5492	1.5703	1.5903	1.6094	1.6456	1.6456	1.7116
2600	Sh			26.09	76.09	126.09	176.09	226.09	276.09	326.09	376.09	426.09	476.09	526.09	626.09	726.09	826.09
(673.91)	v	0.02938	0.1211	0.1544	0.1909	0.2171	0.239	0.2585	0.2765	0.2933	0.3093	0.3247	0.3395	0.354	0.3819	0.4088	0.435
	h	744.47	1082	1160.2	1241.1	1296.5	1341.9	1382.1	1419.2	1454.1	1487.7	1520.2	1552.2	1583.7	1646	1707.7	1769.1
	s	0.9247	1.2225	1.2908	1.3592	1.4042	1.4395	1.4696	1.4964	1.5208	1.5434	1.5646	1.5848	1.604	1.6405	1.6746	1.7068
2700	Sh			20.47	70.47	120.47	170.47	220.47	270.47	320.47	370.47	420.47	470.47	520.47	620.47	720.47	820.47
(679.53)	v	0.03029	0.1119	0.1411	0.1794	0.2058	0.2275	0.2468	0.2644	0.2809	0.2965	0.3114	0.3259	0.3399	0.367	0.3931	0.4184
	h	757.34	1069.7	1142	1231.1	1289.5	1336.3	1377.5	1415.2	1450.7	1484.6	1517.5	1549.8	1581.5	1644.1	1706.1	1767.8
	s	0.9356	1.2097	1.2727	1.3481	1.3954	1.4319	1.4628	1.49	1.5148	1.5376	1.5591	1.5794	1.5988	1.6355	1.6697	1.7021
2800	Sh			15.04	65.04	115.04	165.04	215.04	265.04	315.04	365.04	415.04	465.04	515.04	615.04	715.04	815.04
(684.96)	v	0.03134	0.103	0.1278	0.1685	0.1952	0.2168	0.2358	0.2531	0.2693	0.2845	0.2991	0.3132	0.3268	0.3532	0.3785	0.403
	h	770.69	1055.8	1121.2	1220.6	1282.2	1330.7	1372.8	1411.2	1447.2	1481.6	1514.8	1547.3	1579.3	1642.2	1704.5	1766.5
	s	0.9468	1.1958	1.2527	1.3368	1.3867	1.4245	1.4561	1.4838	1.5089	1.5321	1.5537	1.5742	1.5938	1.6308	1.6651	1.6975
2900	Sh			9.78	59.78	109.78	159.78	209.78	259.78	309.78	359.78	409.78	459.78	509.78	609.78	709.78	808.78
(690.22)	v	0.03262	0.0942	0.1138	0.1581	0.1853	0.2068	0.2256	0.2427	0.2585	0.2734	0.2877	0.3014	0.3147	0.3403	0.3649	0.3887
	h	785.13	1039.8	1095.3	1209.6	1274.7	1324.9	1368	1407.2	1443.7	1478.5	1512.1	1544.9	1577	1640.4	1703	1765.2
	s	0.9588	1.1803	1.2283	1.3251	1.378	1.4171	1.4494	1.4777	1.5032	1.5266	1.5485	1.5692	1.5889	1.6259	1.6605	1.6931
3000	Sh			4.67	54.67	104.67	154.67	204.67	254.67	304.67	354.67	404.67	454.67	504.67	604.67	704.67	804.67
(695.33)	v	0.03428	0.085	0.0982	0.1483	0.1759	0.1975	0.2161	0.2329	0.2484	0.263	0.277	0.2904	0.3033	0.3282	0.3522	0.3753
	h	801.84	1020.3	1060.5	1197.9	1267	1319	1363.2	1403.1	1440.2	1475.4	1509.4	1542.4	1574.8	1638.5	1701.4	1763.8
	s	0.9728	1.1619	1.1966	1.3131	1.3692	1.4097	1.4429	1.4717	1.4976	1.5213	1.5434	1.5642	1.5841	1.6214	1.6561	1.6888
3100	Sh				49.72	99.72	149.72	199.72	249.72	299.72	349.72	399.72	449.72	499.72	599.72	699.72	799.72
(700.28)	v	0.03681	0.0745		0.1389	0.1671	0.1887	0.2071	0.2237	0.239	0.2533	0.267	0.28	0.2927	0.317	0.3403	0.3628
	h	823.97	993.3		1185.4	1259.1	1313	1358.4	1399	1436.7	1472.3	1506.6	1539.9	1572.6	1636.7	1699.8	1762.5
	s	0.9914	1.1373		1.3007	1.3604	1.4024	1.4364	1.4658	1.492	1.5161	1.5384	1.5594	1.5794	1.6169	1.6518	1.6847
3200	Sh				44.92	94.92	144.92	194.92	244.92	294.92	344.92	394.92	444.92	494.92	594.92	694.92	794.92
(705.08)	v	0.04472	0.0566		0.13	0.1588	0.1804	0.1987	0.2151	0.2301	0.2442	0.2576	0.2704	0.2827	0.3065	0.3291	0.351
	h	875.54	931.6		1172.3	1250.9	1306.9	1353.4	1394.9	1433.1	1469.2	1503.8	1537.4	1570.3	1634.8	1698.3	1761.2
	s	1.0351	1.0832		1.2877	1.3515	1.3951	1.43	1.46	1.4866	1.511	1.5335	1.5547	1.5749	1.6126	1.6477	1.6806
3300	Sh																
	v				0.1213	0.151	0.1727	0.1908	0.207	0.2218	0.2357	0.2488	0.2613	0.2734	0.2966	0.3187	0.34
	h				1158.2	1242.5	1300.7	1348.4	1390.7	1429.5	1466.1	1501	1534.9	1568.1	1632.9	1696.7	1759.9
	s				1.2742	1.3425	1.3879	1.4237	1.4542	1.4813	1.5059	1.5287	1.5501	1.5704	1.6084	1.6436	1.6767
3400	Sh																
	v				0.1129	0.1435	0.1653	0.1834	0.1994	0.214	0.2276	0.2405	0.2528	0.2646	0.2872	0.3088	0.3296
	h				1143.2	1233.7	1294.3	1343.4	1386.4	1425.9	1462.9	1498.3	1532.4	1565.8	1631.1	1695.1	1758.2
	s				1.26	1.3334	1.3807	1.4174	1.4486	1.4761	1.501	1.524	1.5456	1.566	1.6042	1.6396	1.6728
3500	Sh																
	v				0.1048	0.1364	0.1583	0.1764	0.1922	0.2066	0.22	0.2326	0.2447	0.2563	0.2784	0.2995	0.3198
	h				1127.1	1224.6	1287.8	1338.2	1382.2	1422.2	1459.7	1495.5	1529.9	1563.6	1629.2	1693.6	1757.2
	s				1.245	1.3242	1.3734	1.4112	1.443	1.4709	1.4962	1.5194	1.5412	1.5618	1.6002	1.6358	1.6691
3600	Sh																
	v				0.0966	0.1296	0.1517	0.1697	0.1854	0.1996	0.2128	0.2252	0.2371	0.2485	0.2702	0.2908	0.3106
	h				1108.6	1215.3	1281.2	1333	1377.9	1418.6	1456.5	1492.6	1527.4	1561.3	1627.3	1692	1755.9
	s				1.2281	1.3148	1.3662	1.405	1.4374	1.4658	1.4914	1.5149	1.5369	1.5576	1.5962	1.632	1.6654
3800	Sh																
	v				0.0799	0.1169	0.1395	0.1574	0.1729	0.1868	0.1996	0.2116	0.22	0.234	0.2549	0.2746	0.2936
	h				1064.2	1195.5	1267.6	1322.4	1369.1	1411.2	1450.1	1487	1522.4	1556.8	1623.6	1688.9	1753.2
	s				1.1888	1.2955	1.3517	1.3928	1.4265	1.4558	1.4821	1.5061	1.5284	1.5495	1.5888	1.6247	1.6584
4000	Sh																
	v				0.0631	0.1052	0.1284	0.1463	0.1616	0.1752	0.1877	0.1994	0.2105	0.221	0.2411	0.2601	0.2783
	h				1007.4	1174.3	1253.4	1311.6	1360.2	1403.6	1443.6	1481.3	1517.3	1552.2	1619.8	1685.7	1750.6
	s				1.1396	1.2754	1.3371	1.3807	1.4158	1.4461	1.473	1.4976	1.5203	1.5417	1.5812	1.6177	1.6516
4200	Sh																
	v				0.0498	0.0945	0.1183	0.1362	0.1513	0.1647	0.1769	0.1883	0.1991	0.2093	0.2287	0.247	0.2645
	h				950.1	1151.6	1238.6	1300.4	1351.2	1396	1437.1	1475.5	1512.2	1547.6	1616.1	1682.6	1748
	s				1.0905	1.2544	1.3223	1.3686	1.4053	1.4366	1.4642	1.4893	1.5124	1.5341	1.5742	1.6109	1.6452
4400	Sh																
	v				0.0421	0.0846	0.109	0.127	0.142	0.1552	0.1671	0.1782	0.1887	0.1986	0.2174	0.2351	0.2519
	h				909.5	1127.3	1223.3	1289	1342	1388.3	1430.4	1469.7	1507.1	1543	1612.3	1679.4	1745.3
	s				1.0556	1.2325	1.3073	13566	1.3949	1.4272	1.4556	1.4812	1.5048	1.5268	1.5673	1.6044	1.6389

تابع جدول (3-15)

Abs Press (psi) Sat. (Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500
				Temperature (F°)													
4600	Sh																
	v			0.038	0.0751	0.1005	0.1186	0.1335	0.1456	0.1582	0.1691	0.1792	0.1889	0.1982	0.2071	0.2242	0.2404
	h			883.8	1100	1207.3	1277.2	1332.6	1380.5	1423.7	1463.9	1501.9	1538.4	1573.8	1608.5	1676.3	1742.7
	s			1.0331	1.2084	1.2922	1.3446	1.3847	1.4181	1.4472	1.4734	1.4974	1.5197	1.5407	1.5607	1.5982	1.633
4800	Sh																
	v			0.0355	0.0665	0.0927	0.1109	0.1257	0.1385	0.15	0.1606	0.1706	0.189	0.189	0.1977	0.2142	0.2299
	h			866.9	1071.2	1190.7	1265.2	1323.1	1372.6	1417	1458	1496.7	1533.8	1569.7	1604.7	1673.1	1740
	s			1.018	1.1835	1.2768	1.3327	1.3745	1.409	1.439	1.4657	1.4901	1.5128	1.5341	1.5543	1.5543	1.6272
5000	Sh																
	v			0.0338	0.591	0.0855	0.1038	0.1185	0.1312	0.1425	0.1529	0.1626	0.1718	0.1806	0.189	0.205	0.2203
	h			854.9	1042.9	1173.6	1252.9	1313.5	1364.6	1410.2	1452.1	1491.5	1529.1	1565.5	1600.9	1670	1737.4
	s			1.007	1.1593	1.2612	1.3207	1.3645	1.4001	1.4309	1.4582	1.4831	1.5061	1.5277	1.5481	1.5863	1.6216
5200	Sh																
	v			0.0326	0.0531	0.0789	0.0973	0.1119	0.1244	0.1356	0.1458	0.1553	0.1642	0.1728	0.181	0.1966	0.2114
	h			845.8	1016.9	1156	1240.4	1303.7	1356.6	1403.4	1446.2	1486.3	1524.5	1561.3	1597.2	1666.8	1734.7
	s			0.9985	1.137	1.2455	1.3088	1.3545	1.3914	1.4229	1.4509	1.4762	1.4995	1.5214	1.542	1.5806	1.6161
5400	Sh																
	v			0.0317	0.0483	0.0728	0.0912	0.1058	0.1182	0.1292	0.1392	0.1485	0.1572	0.1656	0.1736	0.1888	0.2031
	h			838.5	994.3	1138.1	1227.7	1293.7	1348.4	1396.5	1440.3	1481.1	1519.8	1557.1	1593.4	1663.7	1732.1
	s			0.9915	1.1175	1.2286	1.2969	1.3446	1.3827	1.4151	1.4437	1.4694	1.4931	1.5153	1.5362	1.575	1.6109
5600	Sh																
	v			0.0309	0.0447	0.0672	0.0856	0.1001	0.1124	0.1232	0.1331	0.1422	0.1508	0.1589	0.1667	0.1815	0.1954
	h			832.4	975	1119.9	1214.8	1283.7	1340.2	1389.6	1434.3	1475.9	1515.2	1552.9	1589.6	1660.5	1729.5
	s			0.9855	1.1008	1.2137	1.285	1.3348	1.3742	1.4366	1.4366	1.4628	1.4869	1.5093	1.5304	1.5697	1.6058
5800	Sh																
	v			0.0303	0.0419	0.0622	0.0805	0.0949	0.107	0.1177	0.1274	0.1363	0.1447	0.1527	0.1603	0.1747	0.1883
	h			827.3	958.8	1101.8	1201.8	1273.6	1332	1382.6	1428.3	1470.6	1510.5	1548.7	1585.8	1657.4	1726.8
	s			0.9803	1.0867	1.1981	1.2732	1.325	1.3658	1.3999	1.4297	1.4564	1.4808	1.5035	1.5248	1.5644	1.6008
6000	Sh																
	v			0.0298	0.0397	0.0579	0.0757	0.09	0.102	0.1126	0.1221	0.1309	0.1391	0.1469	0.1544	0.1684	0.1817
	h			822.9	945.1	1084.6	1188.8	1263.4	1323.6	1375.7	1422.3	1465.4	1505.9	1544.6	1582	1654.2	1724.2
	s			0.9758	1.0746	1.1833	1.2615	1.3154	1.3574	1.3925	1.4229	1.45	1.4748	1.4748	1.5184	1.5593	1.596
6500	Sh																
	v			0.0287	0.0358	0.0495	0.0655	0.0793	0.0909	0.1012	0.1104	0.1188	0.1266	0.134	0.1411	0.1544	0.1669
	h			813.9	918.5	1046.7	1156.3	1237.8	1302.8	1358.1	1407.3	1452.2	1494.2	1534.1	1572.5	1646.4	1717.6
	s			0.9661	1.0515	1.1506	1.2328	1.2917	1.337	1.3743	1.4064	1.4347	1.4604	1.4841	1.5062	1.5471	1.5844
7000	Sh																
	v			0.0279	0.0334	0.0438	0.0573	0.0704	0.0816	0.0915	0.1004	0.1085	0.116	0.1231	0.1298	0.1424	0.1542
	h			806.9	901.8	1016.5	1124.9	1212.6	1281.7	1340.5	1392.2	1439.1	1482.6	1523.7	1563.1	1638.6	1711.1
	s			0.9582	1.035	1.1243	1.2055	1.2689	1.3171	1.3567	1.3904	1.42	1.4466	1.471	1.4938	1.5355	1.5735
7500	Sh																
	v			0.0272	0.0318	0.0399	0.0512	0.0631	0.0737	0.0833	0.0918	0.0996	0.1068	0.1136	0.12	0.1321	0.1433
	h			801.3	889	992.9	1097.7	1188.3	1261	1322.9	1377.2	1426	1471	1513.3	1553.7	1630.8	1704.6
	s			0.9514	1.0224	1.1033	1.1818	1.2473	1.298	1.3397	1.3751	1.4059	1.4335	1.4586	1.4819	1.5245	1.5632
8000	Sh																
	v			0.0267	0.0306	0.0371	0.0465	0.0571	1.298	0.0762	0.0845	0.092	0.0989	0.1054	0.1115	0.123	0.1338
	h			796.6	879.1	974.4	1074.3	1165.4	1241	1305.5	1362.2	1413	1459.6	1503.1	1544.5	1623.1	1698.1
	s			0.9455	1.0122	1.0864	1.1613	1.2271	1.2798	1.3233	1.3603	1.3924	1.4208	1.4467	1.4705	1.514	1.5533
8500	Sh																
	v			0.0262	0.0296	0.035	0.0429	0.0522	0.0615	0.0701	0.078	0.0853	0.0919	0.0982	0.1041	0.1151	0.1254
	h			782.7	871.2	959.8	1054.5	1144	1221.9	1288.5	1347.5	1400.2	1448.2	1492.9	1535.3	1615.4	1691.7
	s			0.9402	1.0037	1.0727	1.1437	1.2084	1.2627	1.3076	1.346	1.3793	1.4087	1.4352	1.4597	1.504	1.5439
9000	Sh																
	v			0.0258	0.0288	0.0335	0.0402	0.0483	0.0568	0.0649	0.0724	0.0794	0.0858	0.0918	0.0975	0.1081	0.1179
	h			789.3	864.7	948	1037.6	1125.4	1204.1	1272.1	1333	1387.5	1437.1	1482.9	1526.3	1607.9	1685.3
	s			0.9354	0.9864	1.0613	1.1285	1.1918	1.2468	1.2926	1.3323	1.3667	1.397	1.4243	1.4492	1.4944	1.5349
9500	Sh																
	v			0.0254	0.0282	0.0322	0.038	0.0451	0.0528	0.0603	0.0675	0.0742	1.397	0.0862	0.0917	0.1019	0.1113
	h			786.4	859.2	938.3	1023.4	1108.9	1187.7	1256.6	1318.9	1375.1	1426.1	1473.1	1517.3	1600.4	1679
	s			0.931	0.99	1.0516	1.1153	1.1771	1.232	1.2785	1.3191	1.3546	1.3858	1.4137	1.4392	1.4851	1.5263
10000	Sh																
	v			0.0251	0.0276	0.0312	0.0362	0.0425	0.0495	0.0565	0.0633	0.0697	0.0757	0.0812	0.0865	0.0963	0.1054
	h			783.8	854.5	930.2	1011.3	1094.2	1172.6	1242	1305.3	1362.3	1415.3	1463.4	1508.6	1593.1	1672.8
	s			0.927	0.9842	1.0432	1.1039	1.1638	1.2185	1.2652	1.3065	1.3429	1.3749	1.4035	1.4295	1.4763	1.518
105	Sh																
	v			0.0248	0.0271	0.0303	0.0347	0.0404	0.0467	0.0532	0.0595	0.0656	0.0714	0.0768	0.0818	0.0913	0.1001
	h			781.5	850.5	923.4	1001	1081.3	1158.9	1228.4	1292.4	1351.1	1404.7	1453.9	1500	1585.8	1666.7
	s			0.9232	0.979	1.0358	1.0939	1.1519	1.206	1.2529	1.2946	1.3371	1.3644	1.3937	1.4202	1.4677	1.51

تابع جدول (3-15)

Abs Press (psi) (Sat. Temp.)		Sat. Water	Sat. Steam	Temperature (F°) 750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500
11000	v			0.0245	0.0267	0.0296	0.0335	0.0386	0.0443	0.0503	0.0562	0.062	0.0676	0.0727	0.0776	0.0868	0.0952
	h			779.5	846.9	917.5	992.1	1069.9	1146.3	1215.9	1280.2	1339.7	1394.4	1444.6	1491.5	1578.7	1660.6
	s			0.9196	0.9742	1.0292	1.0851	1.1412	1.1945	1.2414	1.2833	1.3209	1.3544	1.3842	1.4112	1.4595	1.5023
11500	v			0.0243	0.0263	0.029	0.0325	0.037	0.0423	0.0478	0.0534	0.0588	0.0641	0.0691	0.0739	0.0827	0.0909
	h			777.7	843.8	912.4	984.5	1059.5	1134.9	1204.3	1268.7	1328.8	1384.4	1435.5	1483.2	1571.8	1654.1
	s			0.9163	0.9698	1.0232	1.0772	1.1316	1.184	1.2308	1.2727	1.3107	1.3446	1.375	1.4025	1.4515	1.4949
12000	v			0.0241	0.026	0.0284	0.0317	0.0357	0.0405	0.0456	0.0508	0.056	0.061	0.0659	0.0704	0.079	0.0869
	h			776.1	841	907.9	977.8	1050.9	1124.5	1193.7	1258	1318.5	1374.7	1426.6	1475.1	1564.9	1648.8
	s			0.9131	0.9657	1.0177	1.0701	1.1229	1.1742	1.2209	1.2627	1.301	1.3353	1.3662	1.3941	1.4438	1.4877
12500	v			0.0238	0.0256	0.0279	0.0309	0.0346	0.039	0.0437	0.0486	0.0535	0.0583	0.0629	0.0673	0.0756	0.0832
	h			774.7	838.6	903.9	971.9	1043.1	1115.2	1184.1	1247.9	1308.8	1365.4	1418	1467.2	1558.2	1643.1
	s			0.9101	0.9618	1.0127	1.0637	1.1151	1.1653	1.2117	1.2534	1.2918	1.3264	1.3576	1.386	1.4363	1.4808
13000	v			0.0236	0.0253	0.0275	0.0302	0.0336	0.0376	0.042	0.0466	0.0512	0.0558	0.0602	0.0645	0.0725	0.0799
	h			773.5	836.3	900.4	966.8	1036.2	1106.7	1174.8	1238.5	1299.6	1356.5	1409.6	1459.4	1551.6	1637.4
	s			0.9073	0.9582	1.008	1.0578	1.1079	1.1571	1.203	1.2445	1.2831	1.3179	1.3494	1.3781	1.4291	1.4741
13500	v			0.0235	0.0251	0.0271	0.0297	0.0328	0.0364	0.0405	0.0448	0.0492	0.0535	0.0577	0.0619	0.0696	0.0768
	h			772.3	834.4	897.2	962.2	1030	1099.1	1166.3	1229.7	1291	1348.1	1401.5	145.8	1545.2	1631.9
	s			0.9045	0.9548	1.0037	1.0524	1.1014	1.1495	1.1948	1.2361	1.2749	1.3098	1.3415	1.3705	1.4221	1.4675
14000	v			0.0233	0.0248	0.0267	0.0291	0.032	0.0354	0.0392	0.0432	0.0474	0.0515	0.0555	0.0595	0.067	0.074
	h			771.3	832.6	894.3	958	1024.5	1092.3	1158.5	1221.4	1283	1340.2	1393.8	1444.4	1538.8	1626.5
	s			0.9019	0.9515	0.9996	1.0473	1.0953	1.1426	1.1872	1.2282	1.2671	1.3021	1.3339	1.3631	1.4153	1.4612
14500	v			0.0231	0.0246	0.0264	0.0287	0.0314	0.0345	0.038	0.0418	0.0458	0.0495	0.0534	0.0573	0.0646	0.0714
	h			770.4	831	891.7	954.3	1019.6	1086.2	1151.4	1213.8	1275.4	1332.9	1386.4	1437.3	1532.6	1621.1
	s			0.8994	0.9484	0.9957	1.0426	1.0897	1.1362	1.1801	1.2208	1.2597	1.2949	1.3266	1.356	1.4087	1.4551
15000	v			0.023	0.0244	0.0261	0.0282	0.0308	0.0337	0.0369	0.0405	0.0443	0.0479	0.0516	0.0552	0.0624	0.069
	h			769.6	829.5	889.3	950.9	1015.1	1080.6	1144.9	1206.8	1268.1	1326	1379.4	1430.3	1526.4	1615.9
	s			0.897	0.9455	0.992	1.0382	1.0846	1.1302	1.1735	1.2139	1.2525	1.288	1.3197	1.3491	1.4022	1.4491
15500	v			0.0228	0.0242	0.0258	0.0278	0.0302	0.0329	0.036	0.0393	0.0429	0.0464	0.0499	0.0534	0.0603	0.0668
	h			768.9	828.2	887.2	947.8	1011.1	1075.7	1139	1200.3	1261.1	1319.6	1372.8	1423.6	1520.4	1610.8
	s			0.8946	0.9427	0.9886	1.034	1.0797	1.1247	1.1674	1.2073	1.2457	1.2815	1.3131	1.3424	1.3959	1.4433

sh super heated

v in ft^3/lb

h in Btu/lb

s in Btu/lb°F

جدول (3-16)
خواص البخار المحمص (درجة الحرارة C)

Temperature Degrees Celsius

Abs press KPa (sat.Temp.)		100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
10 (45.81)	v	17196	19512	21825	24136	26445	31063	35679	40295	44911	49526	54141	58757
	h	2687.5	2783	2879.5	2977.3	3076.5	3279.6	3489.1	3705.4	3928.7	4159	4396.4	4640.6
	s	8.4479	8.6882	8.9038	9.1002	9.2813	9.6077	9.8978	10.1608	10.4028	10.8396	10.8396	11.039
30 (69.10)	v	5715	6493	7267	8040	8811	10351	11891	13430	14969	16508	18047	19585
	h	2685	2781.5	2878.6	2967.7	3076	3279.2	3488.9	3705.3	3928.6	4158.9	4396.4	4640.5
	s	7.9357	8.1785	8.3952	8.5923	8.7736	9.1003	9.3906	9.6537	9.8957	10.121	10.3325	10.532
50 (81.33)	v	3418	3889	4356	4820	5284	6209	7134	8057	8981	9904	10828	11751
	h	2682.5	2780.1	2877.7	2976	3075.5	3278.9	3488.7	3705.1	3928.5	4158.9	4396.3	4640.5
	s	7.6947	7.9401	8.158	8.3556	8.5373	8.8642	9.1546	9.4178	9.6599	9.8852	10.0967	10.296
100 (99.63)	v	1695.8	1936.4	2172	2406	2639	3103	3565	4028	4490	4952	5414	5875
	h	2676.2	2776.4	2875.3	2974.3	3074.3	3278.2	3488.1	3704.7	3928.2	4158.6	4396.1	4640.3
	s	7.3614	7.6134	7.8343	8.0333	8.2158	8.5435	8.8342	9.0976	9.3398	9.5652	9.7767	9.9764
200 (120.23)	v		959.6	1080.3	1198.8	1316.2	1549.3	1781.4	2013	2244	2475	2706	2937
	h		2768.8	2870.5	2971	3071.8	3276.6	3487.1	3704	3927.6	4158.2	4395.8	4640
	s		7.2795	7.5066	7.7086	7.8926	8.2218	8.5133	8.777	9.0194	9.2449	9.4566	9.6563
300 (133.55)	v		633.9	716.3	796.4	875.3	1031.5	1186.7	1341.4	1495.7	1649.9	1804.1	1958.1
	h		2761	2865.6	2967.6	3069.3	3275	3486	3703.2	3927.1	4157.8	4395.4	4639.7
	s		7.0778	7.3115	7.5166	7.7022	8.033	8.3251	8.5892	8.8319	9.0576	9.2692	9.469
500 (151.86)	v			424.9	474.4	522.6	617.3	710.9	804.1	896.9	989.6	1082.2	1174.7
	h			2855.4	2960.7	3064.2	3271.9	3483.9	3701.7	3925.9	4156.9	4394.7	4639.1
	s			7.0592	7.2709	7.4599	7.7938	8.0873	8.3522	8.5952	8.8211	9.0329	9.2328
1000 (179.91)	v			206	232.7	257.9	306.6	354.1	401.1	447.8	494.3	540.7	587.1
	h			2827.9	2942.6	3051.2	3263.9	3478.5	3697.9	3923.1	4154.7	4392.9	4637.6
	s			6.694	6.9247	7.1229	7.4651	7.7622	8.029	8.2731	8.4996	8.7118	8.9119
2000 (212.43)	v				111.44	125.47	151.2	175.68	199.6	223.2	246.7	270	293.3
	h				2902.5	3023.5	3247.6	3467.6	3690.1	3917.4	4150.3	4389.4	4634.6
	s				6.5453	6.7664	7.1271	7.4317	7.7024	7.9487	8.1765	8.3895	8.5901
3000 (233.90)	v				70.58	81.14	99.36	116.19	132.43	148.38	164.14	179.8	195.41
	h				2855.8	2993.5	3230.9	3456.5	3682.3	3911.7	4145.9	4385.9	4631.6
	s				6.2872	6.539	6.9212	7.2338	7.5085	7.7571	7.9862	8.1999	8.4009
4000 (250.40)	v					58.84	73.41	86.43	98.95	110.95	122.87	134.69	146.45
	h					2960.7	3213.6	3445.3	3674.4	3905.9	4141.5	4382.3	4628.7
	s					6.3615	6.769	7.0901	7.3688	7.6198	7.8502	8.0647	8.2662
5000 (263.99)	v					45.32	57.81	68.57	78.69	88.49	98.11	107.62	117.07
	h					2924	3195.7	3433.8	3666.5	3900.1	4137.1	4378.8	4625.7
	s					6.2084	6.6459	6.9759	7.2589	7.5122	7.744	7.9593	8.1612
6000 (275.64)	v					36.16	47.39	56.65	65.25	73.52	81.6	89.58	97.49
	h					2884.2	3177.2	3422.2	3658.4	3894.2	4132.7	4375.3	4622.7
	s					6.0674	6.5408	6.8803	7.1677	7.4234	7.6566	7.8727	8.0751
7000 (285.88)	v					29.47	39.93	48.14	55.65	62.83	69.81	76.69	83.5
	h					2838.4	3158.1	3410.3	3650.3	3888.3	4128.2	4371.8	4619.8
	s					5.9305	6.4478	6.7975	7.0894	7.3476	7.5822	7.7991	8.002
8000 (295.06)	v					24.26	34.32	41.75	48.45	54.81	60.97	67.02	73.01
	h					2785	3138.3	3398.3	3642	3882.4	4123.8	4368.3	4616.9
	s					5.7906	6.3634	6.724	7.0206	7.2812	7.5173	7.7351	7.9384
9000 (303.40)	v						29.93	36.77	42.85	48.57	54.09	59.5	64.85
	h						3117.8	3386.1	3633.7	3876.5	4119.3	4364.8	4614
	s						6.2854	6.6576	6.9589	7.2221	7.4596	7.6783	7.8821
10000 (311.06)	v						26.41	32.79	38.37	43.58	48.59	53.49	58.32
	h						3096.5	3373.7	3625.3	3870.5	4114.8	4361.2	4611
	s						6.212	6.5966	6.9029	7.1687	7.4077	7.6262	7.8315

تابع جدول (3-16)

خواص البخار المحمص (درجة الحرارة C)

Temperature Degrees Celsius

Abs press KPa (sat.Temp.)		100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
	v						23.51	29.52	34.7	39.5	44.09	48.57	52.98
11000	h						3074.3	3361	3616.9	3864.5	4110.4	4357.7	4608.1
(318.15)	s						6.142	6.54	6.8514	7.1199	7.3605	7.5808	7.7856
	v						21.08	26.80	31.64	36.10	40.34	44.47	48.53
12000	h						3051.3	3348.2	3608.3	3858.4	4105.9	4354.2	4605.3
(324.75)	s						6.0747	6.4871	6.8037	7.0749	7.317	7.5382	7.7435
	v						19.007	24.50	29.05	33.22	37.17	41.00	44.77
13000	h						3027.2	3335.2	3599.7	3852.3	4101.4	4350.7	4602.4
(330.93)	s						6.0091	6.4371	6.7591	7.0331	7.2767	7.4988	7.7047
	v						17.216	22.52	26.83	30.75	34.45	38.03	41.64
14000	h						3001.9	3322	3591.1	3846.2	4096.9	4347.2	4599.6
(336.75)	s						5.9448	6.3897	6.7172	6.9939	7.2392	7.4622	7.6685
	v						15.649	20.80	24.91	28.61	32.10	35.46	38.76
15000	h						2975.5	3308.6	3582.3	3840.1	4092.4	4343.8	4596.6
(342.24)	s						5.8811	6.3443	6.6776	6.9572	7.204	7.4279	7.6348
	v						14.262	19.296	23.23	26.74	30.03	33.20	36.30
16000	h						2947.6	3294.9	3573.5	3833.9	4087.8	4340.3	4593.8
(347.44)	s						5.8175	6.3007	6.6399	6.9224	7.1708	7.3957	7.6031
	v						13.021	17.967	21.74	25.09	28.22	31.22	34.14
17000	h						2918.2	3281.1	3564.6	3827.7	4083.3	4336.8	4590.9
(352.37)	s						5.7536	6.2587	6.604	6.8894	7.1395	7.3653	7.5722
	v						11.901	16.784	20.42	23.62	26.60	29.45	32.23
18000	h						2887	3267	3555.6	3821.5	4078.8	4333.3	4588.1
(357.06)	s						5.6887	6.2181	6.5696	6.858	7.1098	7.3365	7.5449
	v						10.881	15.724	19.241	22.31	25.15	27.87	30.61
19000	h						2853.8	3252.7	3546.6	3815.3	4074.3	4329.8	4585.3
(361.54)	s						5.6224	6.1786	6.5366	6.8281	7.0814	7.3091	7.5181
	v						9.942	14.768	18.178	21.13	23.85	26.45	28.97
20000	h						2818.1	3238.2	3537.6	3809	4069.7	4326.4	4582.5
(365.81)	s						5.554	6.1401	6.5048	6.7993	7.0544	7.283	7.4925
	v						9.071	13.903	17.216	20.06	22.68	25.16	27.57
21000	h						2779.6	3223.5	3528.4	3802.8	4065.2	4322.9	4579.6
(369.89)	s						5.4826	6.1026	6.4741	6.7717	7.0285	7.2581	7.4681
	v						8.253	13.115	16.341	19.092	21.61	23.99	26.30
22000	h						2737.6	3208.6	3519.2	3796.5	4060.6	4319.5	4576.8
(373.80)	s						5.4074	[illegible]	6.4444	6.7451	7.0036	7.2342	7.4448
	v						7.478	12.394	15.543	18.206	20.63	22.92	25.14
23000	h						2691.2	3193.4	3510	3790.2	4056.2	4316	4574
	s						5.3269	6.0297	6.4155	6.7195	6.9798	7.2113	7.4224
	v						6.732	11.733	14.811	17.393	19.735	21.944	24.08
24000	h						2639.4	3178	3500.7	3783.8	4051.6	4312.5	4571.3
	s						5.2393	5.9942	6.3875	6.6947	6.9567	7.1892	7.4009
	v						6.004	11.123	14.137	16.646	18.912	21.045	23.10
25000	h						2580.2	3162.4	3491.4	3777.5	4047.1	4309.1	4568.5
	s						5.1418	5.9592	6.3602	6.6707	6.9345	7.168	7.3802
	v						5.28	10.56	13.516	15.957	18.153	20.214	22.20
26000	h						2510.9	3146.6	3482	3771.1	4042.5	4305.7	4565.7
	s						5.0306	5.9248	6.3336	6.6475	6.913	7.1475	7.3602
	v						4.55	10.038	12.941	15.319	17.45	19.446	21.37
27000	h						2428.2	3130.5	3472.5	3764.8	4038	4302.2	4562.9
	s						4.9003	5 8907	6.3077	6.6248	6.8922	7.1276	7.3409

تابع جدول (3-16)

خواص البخار المحمص (درجة الحرارة °C)

Temperature Degrees Celsius

Abs press KPa (sat.Temp.)		100	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
	v						3.831	9.553	12.407	14.727	16.797	18.732	20.59
28000	h						2330.7	3114.3	3463	3758.4	4033.4	4298.8	4560.2
	s						4.7494	5.857	6.2823	6.6029	6.872	7.1084	7.3223
	v						3.214	9.10	11.91	14.18	16.19	18.068	19.869
29000	h						2231.1	3097.8	3453.5	3752	4028.8	4295.4	4557.4
	s						4.5962	5.8236	6.2574	6.5814	6.8523	7.0898	7.3042
	v						2.79	8.678	11.446	13.661	15.623	17.448	19.196
30000	h						2151.1	3081.1	3443.9	3745.6	4024.2	4291.9	4554.7
	s						4.4728	5.7905	6.2331	6.5606	6.8332	7.0718	7.2867
	v						2.527	8.283	11.012	13.18	15.093	16.868	18.567
31000	h						2095	3064.1	3434.3	3739.2	4019.7	4288.5	4551.9
	s						4.3856	5.7576	6.2092	6.5402	6.8147	7.0542	7.2697
	v						2.361	7.912	10.606	12.729	14.597	16.325	17.977
32000	h						2055.9	3047	3424.6	3732.8	4015.1	4285.1	4549.2
	s						4.3239	5.725	6.1858	6.5203	6.7966	7.0372	7.2533
	v						2.247	7.564	10.224	12.306	14.13	15.815	17.423
33000	h						2027.3	3029.6	3415	3726.4	4010.6	4281.7	4546.5
	s						4.2781	5.6925	6.1628	6.5008	6.779	7.0206	7.2372
	v						2.164	7.236	9.865	11.908	13.691	15.335	16.901
34000	h						2005.3	3012.1	3405.2	3719.9	4006	4278.3	4543.8
	s						4.2421	5.6603	6.1401	6.4818	6.7618	7.0044	7.2216
	v						2.10	6.927	9.527	11.533	13.278	14.883	16.41
35000	h						1987.6	2994.4	3395.5	3713.5	4001.5	4274.9	4541.1
	s						4.2126	5.6282	6.1179	6.4631	6.745	6.9886	7.2064
	v						2.048	6.636	9.208	11.179	12.887	14.456	15.946
36000	h						1972.8	2976.4	3385.7	3707	3996.9	4271.5	4538.4
	s						4.1875	5.5962	6.096	6.4448	6.7285	6.9732	7.1916
	v						2.005	6.361	8.907	10.844	12.518	14.052	15.507
37000	h						1960.2	2958.4	3375.9	3700.6	3992.4	4268.1	4535.7
	s						4.1658	5.5644	6.0744	6.4269	6.7125	6.9582	7.1771
	v						1.9679	6.101	8.621	10.527	12.169	13.67	15.092
38000	h						1949.2	2940.1	3366.1	3694.1	3987.8	4264.7	4533
	s						4.1466	5.5328	6.0531	6.4093	6.6967	6.9435	7.163

h in Kj/Kg

s in Kj/Kg k

u in Kj/Kg

n in cm^3/gm (or 10^{-3} m^3/Kg)

جدول (3-17)

خواص البخار المحمص عند معرفة درجة الحرارة (^{0}C) والضغط (MPa)

T	P = 0.01 MPa (45.81)				P = 0.05 MPa (81.33)				P = 0.10 MPa (99.63)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Sat.	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.24	2483.9	2645.9	7.5939	1.694	2506.1	2675.5	7.3594
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614
150	19.512	2587.9	2783	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.9364	25828	2776.4	7.6134
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2817.7	8.158	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
250	24.136	2736	2977.3	9.1002	4.82	2735	2976	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3228.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.4	9.8978	7.134	3132	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.7	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.49	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5652
900	54.141	3855	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0967	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	9640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.337	4257.3	4891	10.1659
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.26	4683.5	5409.5	10.5183
	P = 0.20 MPa (120.23)				P = 0.30 MPa (133.55)				P = 0.40 MPa (143.63)			
Sat.	0.8857	2529.5	2706.7	7.1272	0.6058	2543.6	2725.3	6.9919	0.4625	2553.6	2738.6	6.8959
150	0.9596	2576.9	2768.8	7.2795	0.6339	2570.8	2761	7.0778	0.4708	2564.5	2752.8	6.9299
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	0.7163	2650.7	2865.6	7.3115	0.5342	2646.8	7860.5	7.1706
250	1.1988	2731.2	2971	7.7086	0.7964	2728.7	2967.6	7.5166	0.5951	2726.1	2964.2	7.3789
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	0.8753	2806.7	3069.3	7.7022	0.6548	2804.8	3066.8	7.5662
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	1.0315	2965.6	3275	8.033	0.7776	2964.4	3273.4	7.8985
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	1.1867	3130	3486	8.3251	0.8893	3129.2	3484.9	8.1913
600	2.013	3301.4	3704	8.777	1.3414	3300.8	3703.2	8.5892	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558
700	2.244	3178.8	3927.6	9.0194	1.4957	3478.4	3927.1	8.8319	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987
800	2.415	3663.1	4128.2	9.2449	1.6499	3662.9	4157.8	9.0576	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244
900	2.706	3854.5	4395.8	9.4566	1.8041	3854.2	4395.4	9.2692	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362
1000	2.937	4052.5	4640	9.6563	1.9581	4052.3	4639.7	9.469	1.4685	4052	4639.4	9.336
1100	3.168	4257	4890.7	9.8158	2.1121	4256.8	4890.4	9.6585	1.584	4256.5	4890.2	9.5256
1200	3.399	447.5	5147.3	10.0262	2.2661	4467.2	5147.1	9.8389	1.6996	4467	5146.8	9.706
1300	3.63	4683.2	5409.3	10.1982	2.4201	4683	5409	10.011	1.8151	4682.8	5408.8	9.878
	P = 0.50 MPa (151.86)				P = 0.60 MPa (158.85)				P = 0.80 MPa (170.43)			
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213	0.3157	2567.4	2756.8	6.76	0.2404	2576.8	2769.1	6.6628
200	0.4249	2642.9	2855.4	7.0592	0.352	2638.9	2850.1	6.9665	0.2608	2630.6	2839.3	6.8158
250	0.4744	2723.5	2960.7	7.2709	0.3938	2720.9	2957.2	7.1816	0.2931	2715.5	2950	7.0384
300	0.5226	2802.9	3064.2	7.4599	0.4344	2801	3061.6	7.3724	0.3241	2797.2	3056.5	7.2328
350	0.5701	2882.6	3167.7	7.6329	0.4742	2881.2	3165.7	7.5464	0.3544	2878.2	3161.7	7.4089
400	0.6173	2963.2	3271.9	7.7938	0.5137	2962.1	3270.3	7.7079	0.3843	2959.7	3267.1	7.5716
500	0.7109	3128.4	3483.9	8.0873	0.592	3127.6	3482.8	8.0021	0.4433	3126	3480.6	7.8673
600	0.8041	3299.6	3701.7	8.3522	0.6697	3299.1	3700.9	8.2674	0.5018	3297.9	3699.4	8.1333
700	0.8969	3477.5	3925.9	8.5952	0.7472	3477	3925.3	8.5107	0.5601	3476.2	3924.2	8.377
800	0.9896	3662.1	4156.9	8.8211	0.8245	3661.8	4156.5	8.7367	0.6181	3661.1	4155.6	8.6033
900	1.0822	3853.6	4394.7	9.0329	0.9017	3853.4	4394.4	8.7486	0.6761	3852.8	4393.7	8.8153
1000	1.1747	4051.8	46[illegible].1	9.2328	0.9788	4051.5	4638.8	9.1485	0.734	4051	4638.2	9.0153
1100	1.2672	4256.3	4889.9	9.4224	1.0559	4256.1	4889.6	9.3381	0.7919	4255.6	4889.1	9.205
1200	1.3596	4466.8	5146.6	9.6029	1.133	4466.5	5146.3	9.5185	0.8497	4466.1	5145.9	9.3855
1300	1.4521	4682.5	5408.6	9.7749	1.2101	4682.3	5408.3	9.6906	0.9076	4681.8	5407.9	9.5575

تابع جدول (3-17)

T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	P = 1.00 MPa (179.91)				*P* = 1.20 MPa (187.99)				*P* = 1.40 MPa (195.07)			
Sat.	0.19444	2583.6	2778.1	6.5865	0.1633	2588.8	2784.8	6.5233	0.1408	2592.8	2790	6.4693
200	0.206	2621.9	2827.9	6.694	0.1693	2612.8	2815.9	6.5898	0.143	2603.1	2803.3	6.4975
250	0.2327	2709.9	2942.6	6.9247	0.1923	2704.2	2935	6.8294	0.1635	2698.3	2927.2	6.7467
300	0.2579	2793.2	3051.2	7.1229	0.2138	2789.2	3045.8	7.0317	0.1823	2785.2	3040.4	6.9534
350	0.2825	2875.2	3157.7	7.3011	0.2345	2872.2	3153.6	7.2121	0.2003	2869.2	3149.5	7.136
400	0.3066	2957.3	3263.9	7.4651	0.2548	2954.9	3260.7	7.3774	0.2178	2952.5	3257.5	7.3026
500	0.3541	3124.4	3478.5	7.7622	0.2946	3122.8	3476.3	7.6759	0.2521	3121.1	3474.1	7.6027
600	0.4011	3296.8	3697.9	8.029	0.3339	3295.6	3696.3	7.9435	0.286	3294.4	3694.8	7.871
700	0.4478	3475.3	3923.1	8.2731	0.3729	3474.4	3922	8.1881	0.3195	3473.6	3920.8	8.116
800	0.4943	3660.4	4154.7	8.4996	0.4118	3659.7	4153.8	8.4148	0.3528	3659	4153	8.3431
900	0.5407	3852.2	4392.9	8.7118	0.4505	3851.6	4392.2	8.6272	0.3861	3851.1	4391.5	8.5556
1000	0.5871	4050.5	4637.6	8.9119	0.4892	4050	4637	8.8274	0.4192	4049.5	4636.4	8.7559
1100	0.6335	4255.1	1888.6	9.1017	0.5278	4254.6	4888	9.0172	0.4524	4254.1	4887.5	8.9457
1200	0.6798	4465.6	5145.4	9.2822	0.5665	4465.1	51449	9.1977	0.4855	4464.7	5144.4	9.1262
1300	0.7261	4681.3	5407.4	9.4543	0.6051	4680.9	5407	9.3698	0.5186	4680.4	5406.5	9.2984
	P = 1.60 MPa (204.41)				*P* = 1.80 MPa (207.15)				*P* = 2.00 MPa (212.42)			
Sat.	0.1238	2596	2794	6.4218	0.1104	2598.4	2797.1	6.3794	0.0996	2600.3	2799.5	6.3409
225	0.13287	2644.7	2857.3	6.5518	0.1167	2636.6	2846.7	6.4808	0.1038	2628.3	2835.8	6.4147
250	0.14184	2692.3	2919.2	6.6732	0.125	2686	2911	6.6066	0.1114	2679.6	2902.5	6.5453
300	0.15862	2781.1	3034.8	6.8844	0.1402	2776.9	3029.2	6.8226	0.1255	2772.6	2023.5	6.7664
350	0.17456	2866.1	3145.4	7.0694	0.1546	2863	3141.2	7.01	0.1386	2859.8	3137	6.9563
400	0.19005	2950.1	3254.2	7.2374	0.1685	2947.7	3250.9	7.1794	0.1512	2945.2	3247.6	7.1271
500	0.2203	3119.5	3422	7.539	0.1955	3117.9	3469.8	7.4825	0.1757	3116.2	3467.6	7.4317
600	0.25	3293.3	3693.2	7.808	0.222	3292.1	3691.7	7.7523	0.1996	3290.9	3690.1	7.7024
700	0.2794	3422.7	3919.7	8.0535	0.2482	3471.8	3918.5	7.9983	0.2232	3470.9	3917.4	7.9487
800	0.3086	3658.3	4152.1	8.2808	0.2742	3657.6	4151.2	8.2258	0.2467	3657	4150.3	8.1765
900	0.3377	3850.5	4390.8	8.4915	0.3001	3849.9	4390.1	8.4386	0.27	3849.3	4389.4	8.3895
1000	0.3668	4049	4615.8	8.6918	0.326	4018.5	4615.2	8.6391	0.2933	4048	4634.6	8.5901
1100	0.3958	4253.7	4887	8.8837	0.3518	4253.2	4886.4	8.829	0.3166	42527	4885.9	8.78
1200	0.4248	4464.2	5143.9	9.0643	0.3776	4463.7	5143.4	9.0096	0.3398	4463.3	5142.9	8.9607
1300	0.4538	4679.9	5406	9.2364	0.4034	4679.5	5405.6	9.1818	0.3631	4679	5405.1	9.1329
	P = 2.50 MPa (223.99)				*P* = 3.00 MPa (233.90)				*P* = 3.50 MPa (242.60)			
Sat.	0.07998	2603.1	2803.1	6.2575	0.0667	2604.1	2804.2	6.1869	0.0571	2603.7	2803.4	6.1253
225	0.08027	2605.6	2806.3	6.2639								
250	0.087	2662.6	2880.1	6.4085	0.0706	2644	2855.8	6.2872	0.0587	2623.7	2829.2	6.1749
300	0.0989	2761.6	3008.8	6.6438	0.0811	2750.1	2993.5	6.539	0.0684	2738	2977.5	6.4461
350	0.10976	2851.9	3126.3	6.8403	0.0905	2843.7	3115.3	6.7428	0.0768	2835.3	3104	6.6579
400	0.1201	2939.1	3239.3	7.0148	0.0994	2932.8	3230.9	6.9212	0.0845	2926.4	3222.3	6.8405
450	0.13014	3025.5	3350.8	7.1746	0.1079	3020.4	3344	7.0834	0.092	3015.3	3337.2	7.0052
500	0.13998	3112.1	3462.1	7.3234	0.1662	3108	3456.5	7.2338	0.0992	3103	3450.9	7.1572
600	0.1593	3288	3686.3	7.596	0.1324	0.3285	3682.3	7.5085	0.1132	3282.1	3678.4	7.4339
700	0.17832	3468.7	3914.5	7.8435	0.1484	3466.5	3911.7	7.7571	0.127	3464.3	3908.8	7.6837
800	0.19716	3655.3	4148.2	8.072	0.1641	3653.5	4145.9	7.9862	0.1406	3651.8	4143.7	7.9134
900	0.2159	3847.9	4387.6	8.2853	0.1798	3846.5	4385.9	8.1999	0.154	3845	4384.1	8.1276
1000	0.2346	4046.7	4633.1	8.4861	0.1954	4045.4	4631.6	8.4009	0.1674	4044.1	4630.1	8.3288
1100	0.2532	4251.5	4884.6	8.6762	0.211	42503	4883.3	8.5912	0.1808	4249.2	4881.9	8.5192
1200	0.2718	4462.1	5141.7	8.8569	0.2265	4460.9	5140.5	8.772	0.1942	4459.8	5139.3	8.70
1300	0.2905	4677.8	5404	9.0291	0.2421	4676.6	5402.8	8.9442	0.2075	4675.5	5401.7	8.8723

تابع جدول (3-17)

T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	P = 4.0 MPa (250.40)				*P* = 4.5 MPa (257.49)				*P* = 5.0 MPa (263.99)			
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	0.04406	2600.1	2798.3	6.0198	0.03944	2597.1	2794.3	5.9734
275	0.05457	2667.9	2886.2	6.2285	0.0473	2650.3	2863.2	6.1401	0.04141	2631.3	2838.3	6.0544
300	0.05884	2725.3	2960.7	6.3615	0.05135	2712	2943.1	6.2828	0.4532	2698	2924.5	6.2084
350	0.06645	2826.7	3092.5	6.5821	0.0584	2817.8	3080.6	6.5131	0.05194	2808.7	3068.4	6.4493
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.769	0.06475	2913.3	3204.7	6.7047	0.05781	2906.6	3195.7	6.6459
450	0.08002	3010.2	3330.3	6.9363	0.07074	3005	3323.3	6.8746	0.0633	2999.7	3316.2	9.8186
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.07651	3095.3	3439.6	7.0301	0.06857	3091	3433.8	6.9759
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.08765	3776	3670.5	7.311	0.07869	3273	3666.5	7.2589
700	0.11095	3462.1	3905.9	7.6198	0.09847	3459.9	3903	7.5631	0.08849	3457.6	3900.1	7.5122
800	0.12287	3650	4141.5	7.8502	0.10911	3648.3	4139.3	7.7942	0.09811	3646.6	4137.1	7.744
900	0.13469	3843.6	4382.3	8.0647	0.11965	38422	4380.6	8.0091	0.10762	3840.7	4378.8	7.9593
1000	0.14645	4042.9	4628.7	8.2662	0.13013	4044.6	4627.2	8.2108	0.11707	4040.4	4625.7	8.1612
1100	0.15817	42480	4880.6	8.4567	0.14056	4246.8	4879.3	8.4015	0.12648	4245.6	4878	8.352
1200	0.16987	4458.6	5138.1	8.6376	0.15098	4457.5	5136.9	8.5825	0.13587	4456.3	5135.7	8.5331
1300	0.18156	4674.3	5400.5	8.81	0.16139	4673.1	5399.4	8.7549	0.14526	4672	5398.2	8.7055
	P = 6.0 MPa (275.64)				*P* = 7.0 MPa (285.88)				*P* = 8.0 MPa (295.06)			
Sat.	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892	0.02737	2580.5	2772.1	5.8133	0.02352	2569.8	2758	5.7432
300	0.03616	2667.2	2884.2	6.0674	0.02947	2632.2	2838.4	5.9305	0.02426	2590.9	2785	5.7906
350	0.04223	2789.6	3043	6.3335	0.03524	2769.4	3016	6.2283	0.02995	2747.7	2987.3	6.1301
400	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408	0.01993	2878.6	3158.1	6.4428	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634
450	0.05214	2988.9	3301.8	6.7193	0.01416	2978	3287.1	6.6327	0.03817	2966.7	3222	6.5551
500	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803	0.01814	3073.4	3410.3	6.7975	0.04175	3064.3	3398.3	6.724
550	0.06101	3174.6	3540.6	7.0288	0.05195	3167.2	3530.9	6.9486	0.04516	3159.8	3521	6.8778
600	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677	0.05565	3260.7	3650.3	7.0894	0.04845	3254.4	3642	7.0206
700	0.07352	3453.1	3894.2	7.4234	0.06283	3448.5	3888.3	7.3476	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812
800	0.0816	3643.1	4132.7	7.6566	0.06981	3639.5	4128.2	7.5822	0.06097	3636	4123.8	7.5173
900	0.08958	3837.8	4375.3	7.8727	0.07669	3845	4171.8	7.7991	0.06702	3832.1	4368.3	7.7351
1000	0.09749	4037.8	4622.7	8.0754	0.0815	4015.3	4619.8	8.002	0.07301	4032.8	4616.9	7.9384
1100	0.10536	4243.1	4875.4	8.2664	0.09027	4240.9	4822.8	8.1933	0.07896	4238.6	4870.3	8.13
1200	0.11321	4454	5133.3	8.4474	0.09703	4451.7	5130.9	8.3747	0.08489	4449.5	5128.5	8.3115
1300	0.12186	4669.6	5396	8.6199	0.10377	4667.3	5393.7	8.5473	0.0908	4665	5391.5	8.4842
	P = 9.0 MPa (303.4)				*P* = 10.0 MPa (311.06)				*P* = 12.5 MPa (327.89)			
Sat.	.02048	2557.8	2742.1	5.6772	0.018026	2544.4	2724.7	5.6141	0.013495	2505.1	2673.8	5.4624
325	0.02327	2646.6	2856	5.8712	0.019861	2610.4	2809.1	5.7568				
350	0.0258	2724.4	2956.6	6.0361	0.02242	2699.2	2923.4	5.9443	0.016126	2624.6	2 826.2	5.7118
400	0.02993	2848.4	3117.8	6.2854	0.02641	2832.4	3096.5	6.212	0.02	2789.3	3039.3	6.0117
450	0.0335	2955.2	3256.6	6.4844	0.02975	2943.4	3240.9	6.419	0.02299	2912.5	3199.8	6.2719
500	0.03677	3055.2	3386.1	6.6576	0.01279	3045.8	3373.7	6.5966	0.02569	3021.7	3341.8	6.1618
550	0.03987	3152.2	3511	6.8142	0.03564	3144.6	3500.9	6.7561	0.02801	3125	3475.2	6.629
600	0.04285	3248.1	3633.7	6.9589	0.01837	3241.7	3625.3	6.9029	0.03029	3225.4	3604	6.781
650	0.04574	3343.6	3755.3	7.0943	0.01101	3338.2	3748.2	7.0398	0.03248	3324.4	3730.4	6.9218
700	0.04857	3439.3	3876.5	7.2221	0.01358	3434.7	3870.5	7.1687	0.0346	3422.9	3855.3	7.0536
800	0.05409	3032.5	4119.3	7.4596	0.01859	3628.9	4114.8	7.4077	0.03869	3620	4103.6	7.2965
900	0.0595	3829.2	4364.8	7.6783	0.05349	3826.3	4361.2	7.6272	0.04267	3819.1	4352.5	7.5182
1000	0.06485	4030.3	4614	7.8821	0.05832	4027.8	4611	7.8315	0.01658	4021.6	4603.8	7.7237
1100	0.07016	4236.3	4867.7	8.074	0.06812	4234	4865.1	8.0737	0.05045	4228.2	4858.8	7.9165
1200	0.07544	4447.2	5126.2	8.2556	0.06789	4444.9	5123.8	8.2055	0.0543	4439.3	5118	8.10
1300	0.08072	4662.7	5389.2	8.4284	0.07265	4460.5	5387	8.3783	0.05813	4654.8	5381.4	8.2717

تابع جدول(3-17)

T	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
	$P = 15.0$ MPa (342.24)				$P = 17.5$ MPa (354.75)				$P = 20.0$ MPa (365.81)			
Sat.	0.010337	2455.5	2610.5	5.3098	0.00792	2390.2	2528.8	5.1419	0.005834	2293	2409.7	4.9269
350	0.01147	2520.4	2692.4	5.4421								
400	0.015649	2740.7	2975.5	5.8811	0.012447	2685	2902.9	5.7213	0.009942	2619.3	2818.1	5.554
450	0.018445	2879.5	3156.2	6.1404	0.015174	2844.2	3109.7	6.0184	0.012695	2806.2	3060.1	5.9017
500	0.0208	2996.6	3308.6	6.3443	0.017358	2970.3	3274.1	6.2383	0.014768	2942.9	3238.2	6.1401
550	0.02293	3104.7	3448.6	6.5199	0.019288	3083.9	3421.4	6.423	0.016555	3062.4	3393.5	6.3348
600	0.02491	3208.6	3582.3	6.6776	0.02106	3191.5	3560.1	6.5866	0.018178	3174	3537.6	6.5048
650	0.0268	3310.3	3712.3	6.8224	0.02274	3296	3693.9	6.7357	0.019693	3281.4	3675.3	6.6582
700	0.02861	3410.9	3840.1	6.9572	0.02434	3398.7	3824.6	6.8736	0.02113	3386.4	3809	6.7993
800	0.0321	3610.9	4092.4	7.201	0.02738	3601.8	4081.1	7.1244	0.02385	3592.7	4069.7	7.0544
900	0.03546	3811.9	4343.8	7.4279	0.03031	3804.7	4335.1	7.3507	0.02645	3797.5	4326.4	7.283
1000	0.03875	4015.4	4596.6	7.6348	0.03316	4009.3	4589.5	7.5589	0.02897	4003.1	4582.5	7.4925
1100	0.012	4222.6	4852.6	7.8283	0.03597	4216.9	4846.4	7.7531	..03145	4211.3	4840.2	7.6874
1200	0.04573	4433.8	5112.3	8.0108	0.03876	4428.3	5106.6	7.936	0.03391	4422.8	5101	7.8707
1300	0.04845	4649.1	5376	8.184	0.04154	4643.5	5370.5	8.1093	0.03636	4638	5365.1	8.0442
	$P = 25.0$ MPa				$P = 30.0$ MPa				$P = 35.0$ MPa			
Sat.	0.0019731	1798.7	1848	4.032	0.001789	1737.8	1791.5	3.9305	0.0017	1702.9	1762.4	3.8722
375	0.006004	2430.1	2580.2	5.1418	0.00279	2067.4	2151.1	4.4728	0.0021	1914.1	1987.6	4.2126
400	0.007881	2609.2	2806.3	5.4723	0.005303	2455.1	2614.2	5.1504	0.003428	2253.4	2373.4	4.7747
425	0.009162	2720.7	2949.7	5.6744	0.006715	2619.3	2821.4	5.4424	0.001961	2498.7	2672.4	5.1962
450	0.011123	2884.3	3162.4	5.9592	0.008678	2820.7	3081.1	5.7905	0.006927	2751.9	2994.4	5.6282
500	0.012724	3017.5	3335.6	6.1765	0.010168	2970.3	3275.4	6.0342	0.008345	2921	3213	5.9026
550	0.014137	3137.9	3491.4	6.3602	0.011446	3100.5	3443.9	6.2331	0.009527	3062	3395.5	6.1179
600	0.015433	3251.6	3637.4	6.5229	0.012596	3221	3598.9	6.4058	0.010575	3189.8	3559.9	6.301
650	0.016646	3361.3	3777.5	6.6707	0.013661	3335.8	3745.6	6.5606	0.011533	3309.8	3713.5	6.4631
700	0.018912	3574.3	4047.1	6.9345	0.015623	3555.5	4024.2	6.8332	0.013278	3536.7	4001.5	6.745
800	0.021045	3783	4309.1	7.168	0.017448	3768.5	4291.9	7.0718	0.014883	3754	4274.9	6.9886
900	0.0231	3990.9	4568.5	7.3802	0.019196	3978.8	4554.7	7.7867	0.01641	3966.7	4541.1	7.2064
1000	0.02512	4200.2	4828.7	7.5765	0.020903	4189.2	4816.3	7.4845	0.017895	4178.3	4804.6	7.4057
1200	0.02711	4412	5089.9	7.7605	0.022589 ·	4401.3	5079	7.6692	0.01936	4390.7	5068.3	7.591
1300	0.0291	4626.9	5354.4	7.9342	0.024266	4616	5344	7.8432	0.020815	4605.1	5333.6	7.7653
	$P = 40.0$ MPa				$P = 50.0$ MPa				$P = 60$ MPa			
375	0.0016407	1677.1	1742.8	3.829	0.001559	1638.6	1716.6	3.7639	0.001503	1609.4	1699.5	3.7141
400	0.0019077	1854.6	1930.9	4.1135	0.001731	1788.1	1874.6	4.0031	0.001634	1745.4	1843.4	3.9318
425	0.002532	2096.9	2198.1	4.5029	0.002007	1959.7	2060	4.2734	0.001817	1892.7	2001.7	4.1626
450	0.003693	2365.1	2512.8	4.9459	0.002486	2159.6	2284	4.5884	0.002085	2053.9	2179	4.4121
500	0.005622	2678.4	2903.3	5.47	0.003892	2525.5	2720.1	5.1726	0.002956	2390.6	2567.9	4.9321
550	0.006984	2869.7	3149.1	5.7785	0.005118	2763.6	3019.5	5.5485	0.003956	2658.8	2896.2	5.3441
600	0.008094	3022.6	3346.4	6.0114	0.006112	2942	3247.6	5.8178	0.004834	2861.1	3151.2	5.6452
650	0.009063	3158	3520.6	6.2054	0.006966	3093.5	3441.8	6.0342	0.005595	2028.8	3364.5	5.8829
700	0.009941	3283.6	3681.2	6.375	0.007727	3230.5	3616.8	6.2189	0.006272	3177.2	3553.5	6.0824
800	0.011523	3517.8	3978.7	6.6662	0.009076	3479.8	3933.6	6.529	0.007459	3441.5	3889.1	6.4109
900	0.012962	3739.4	4257.9	6.915	0.010283	3710.3	4224.4	6.7882	0.008508	3681	4191.5	6.6805
1000	0.014324	3954.6	4527.6	7.1356	0.011411	3930.5	4501.4	7.0146	0.00948	3906.4	4475.2	6.9127
1100	0.015642	4167.4	4793.1	7.3364	0.012496	4145.7	4770.5	7.2184	0.010409	4124.1	4748.6	7.1195
1200	0.01694	4380.1	5057.7	7.5224	0.013561	4359.1	5037.5	7.4058	0.011317	4338.2	5017.2	7.3083
1300	0.018229	4594.3	5323.5	7.6969	0.014616	4572.8	5303.6	7.5808	0.012215	4551.4	5284.3	7.4837

(3-2-3)خصائص البخار الرطب (Wet steam)

يمكن الحصول على خصائص البخار الرطب باستخدام جداول البخار المشبع وبمعرفة الجودة (أو درجة الجفاف **dryness**) للبخار الرطب كذلك بمعرفة درجة الحرارة أو الضغط . وباستخدام المعادلة الآتية :

$$P_{wet} = \left\{ \left(P_f - P_g \right) X \right\} + P_f \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3-1)$$

حيث : x = الجودة (أو درجة الجفاف)

p_{wet} = الخاصية المطلوبة للبخار الرطب

p_f , p_g = الخاصية المقابلة للخاصية المطلوبة لكل من المياه المشبع والبخار المشبع عند الضغط أو درجة الحرارة المعطاه

ملحوظة :

يلاحظ أنه يمكن استخدام أكثر من وحدة لبعض خواص البخار مثل :

– الانثالبيا وحدتها يمكن أن تكون **Btu/lb** أو **KJ/Kg**

– الحجم النوعى وحدته يمكن أن تكون **m³/kg** أو **ft³/lb**

لذلك يجب معرفة هذه العلاقات لامكانية اجراء التحويلات من وحدة إلى أخرى :

1 Btu ≅ 1055.056 J
1 lb ≅ 0.453592 kg
1 ft ≅ 0.3048 m

ومن وحدات الضغط :

1 atm = 101325 P_a atmosphere physical
1 at = 98066.5 P_a atmosphere technical
Btu / lb ^{0}F = 0.23889 J / gram ^{0}C

(3-2-4) خريطة الانثالبيا النوعية -الأنتروبيا النوعية

تعرف خريطة الانثالبيا النوعية - الأنتروبيا النوعية بخريطة موليير (Mollier chart)
و في هذه الخريطة يتم تمثيل خواص البخار بالمنحنيات..
يوضح شكل (4-3) خريطة موليير باستخدام وحدات (J/g) ، ($J/g\ k^o$)
بينما يوضح شكل (5-3) خريطة موليير باستخدام وحدات (Btu/lb) ، ($Btu/lb\ C^o$)
بمعرفة ضغط ودرجة حرارة البخار يمكن تحديد حالته من الخرائط.
مثلا : اذا كان ضغط البخار 1000 كيلو باسكال (KPa) وكانت درجة حرارته $250\ C^o$
فمن شكل (4-3) فان البخار يكون محمصا (superheated) لأن درجة حرارته تكون
أعلى من درجة حرارة التشبع المقابلة لضغط 1000 كيلوباسكال (تقريبا 180^oم) ومن
الخريطة نجد أن انثالبيا البخار 2965 جول/جم وأن الانتروبيا 6.9 جول/جم درجة كلفن

ENTHALPY–ENTROPY DIAGRAM FOR STEAM

METRIC
S I UNITS

SPECIFIC ENTHALPY J/g

الإنثالبيا ENTHALPY J/g

SPECIFIC ENTROPY J/gK الأنتروبيا

SUPER HEATED

STEAM TEMPERATURE LINES

PRESSURE LINES

SATURATION LINE

WET STEAM ZONE

QUALITY LINES

TRIPLE-POINT PRESSURE

0.90 DRYNESS FRACTION

0.85 DRYNESS

0.80 DRYNESS

0.70 DRYNESS

— SATURATION LINE

شكل (3-4) خريطة موليير باستخدام وحدات (J/g) ، (J/g k°)

Entropy

Enthalpy, Btu per Lb.

الإنثالبيا

Constant Temperature, deg. F

Constant Pressure, Lb. per sq. in.

Saturation Line

Constant Moisture, per cent

Critical State

Entropy

الأنتروبيا

شكل (3-5) خريطة موليير باستخدام وحدات (Btu/lb) ، (Btu/lb C°)

3-3 تحديد قطر مواسير البخار

عند تصميم شبكة توزيع البخار يجب معرفة قطر المواسير المناسبة والتنبيه بعدم المبالغة فى المقاسات والتى تؤدى إلى زيادة الفقد الحرارى بالإضافة إلى إرتفاع التكلفة ويتم تحديد قطر مواسير البخار بإحدى الطريقتين الأتيتين :

أ- تحديد قطر مواسير البخار بمعرفة سرعة تدفق البخار

عمليا وجد أن السرعة المناسبة لتدفق البخار الجاف المشبع تتراوح من 25 m/s إلى 35 m/s والتى لا تسبب ضوضاء أو تآكل للمواسير وخاصة عندما يكون البخار رطبا .

كذلك وجد أنه فى حالة المواسير الطويلة تكون سرعة البخار 15 m/s

بمعرفة كل من العوامل الآتية :

- سرعة تدفق البخار بوحدات m/s
- سعة تدفق البخار بوحدات kg/h
- ضغط البخار بوحدات bar

يمكن باستخدام جدول (3-18) تحديد قطر مواسير البخار اللازمة بوحدات ملليمتر (mm)

من عيوب هذه الطريقة أنها لا تحدد ضغط الاستعمال المطلوب عند نهاية خط التوزيع .

ب- تحديد قطر مواسير البخار بمعرفة الهبوط فى ضغط البخار

يتم أولا تحديد الضغط الابتدائى والضغط النهائى عند نهاية الخط وباستخدام جدول (3-19) نحصل على عامل P_1 يعتمد على الضغط الابتدائى وعامل P_2 يعتمد على الضغط النهائى وبالتعويض فى المعادلة التالية نحصل على عامل الهبوط فى الضغط F

$$F = \frac{P_1 - P_2}{L} \quad \cdots\cdots\cdots(3-2)$$

حيث L الطول الكلى لخط البخار مشتملا على جميع المستلزمات والمساعدات .

من جدول (3-20) وباستخدام عامل الهبوط فى الضغط (F) وسعة تدفق البخار فى المواسير نحصل على قطر الماسورة المطلوبة .

نلاحظ أن جدول رقم (3-20) يحتوى أيضا على السرعه Y بوحدات m/s
وهى محسوبة على أساس أن الحجم النوعى للبخار مقداره $1\ m^3 / kg$
وعند تغير الحجم النوعى عن هذا المقدار ، يجب تصحيح قيمة السرعه Y بإعادة حسابها
مع الأخذ فى الاعتبار الحجم النوعى الفعلى للبخار . ويتم ذلك تبعا للمعادلة الآتية :

السرعة من جدول (3-20) ← الحجم النوعى $1\ m^3 / kg$
السرعة الفعلية ← الحجم النوعى الفعلى لكل كجم بخار

أى أن :

$$\text{السرعة الفعلية} = \frac{\{\text{السرعة } (Y) \text{ من جدول } (3\text{-}20)\} \times \text{الحجم النوعى الفعلى لكل كجم بخار}}{1}$$

ونحصل على الحجم النوعى الفعلى لكل كجم بخار من جدول رقم(3-19)عند قيمة الضغط الإبتدائى .

مثال :

إحسب قطر الماسورة والسرعة الفعلية تبعا للبيانات التالية :

الضغط الإبتدائى = 7 bar
الضغط النهـائى = 6.4 bar
طول الخط الكلى = 263 m
سعة تدفق البخار = 920 kg/h

الحـل :

من جدول رقم (3-19) نحصل على

$P_1 = 56.38$ & $P_2 = 48.48$

$$\therefore F = \frac{56.38 - 48.48}{263} = 0.03$$

من جدول رقم (20-3) عند F= 0.03 , X= 920 kg / hr

نحصل على :

Y= 80.64 m/s at 1 m^3 / kg

وقطر ماسورة البخار المطلوبة (2.5") 65mm

من جدول (19-3) وعند ضغط إبتدائى 7 bar نحصل على الحجم النوعى الفعلى 0.24 m^3 / kg ومنه نحسب السرعة الفعلية .

السرعة الفعلية = 80.64 × 0.24

= 19.35 m/s

جدول (3-18)

قطر مواسير البخار عند سرعات محدده وتبعا لسعة تدفق البخار بوحدات Kg/h

Pressure bar	Velocity m/s	15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	125mm	150mm
0.4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917
	25	10	25	40	62	92	162	265	384	675	972	1457
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1037	1670	2303
0.7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1006
	25	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1145	1575
	40	18	37	68	106	167	298	428	630	1108	1712	2417
1.0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1020
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1150	1800	2500
2.0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1125	1580
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1215	1755	2520
	40	30	64	115	178	275	475	745	1010	1895	2925	4175
3.0	15	16	37	60	93	127	245	385	535	925	1505	2040
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440
	40	41	87	157	250	357	595	1025	1460	2540	4050	5940
4.0	15	19	42	70	108	156	281	432	635	1166	1685	2460
	25	30	63	115	180	270	450	742	1080	1980	2925	4225
	40	49	116	197	295	456	796	1247	1825	3120	4940	7050
5.0	15	22	49	87	128	187	352	526	770	1295	2105	2835
	25	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150
	40	59	131	225	338	495	855	1350	1890	3510	5400	7870
6.0	15	26	59	105	153	225	425	632	925	1555	2525	3400
	25	43	97	162	253	370	658	1065	1520	2530	4250	6175
	40	71	157	270	405	595	1025	1620	2270	4210	6475	9445
7.0	15	29	63	110	165	260	445	705	952	1815	2765	3990
	25	49	114	190	288	450	785	1205	1750	3025	4815	6920
	40	76	117	303	455	690	1210	1865	2520	4585	7560	10880
8.0	15	32	70	126	190	285	475	800	1125	1990	3025	4540
	25	54	122	205	320	465	810	1260	1870	3240	5220	7120
	40	84	192	327	510	730	1370	2065	3120	5135	8395	12470
10.0	15	41	95	155	250	372	626	1012	1465	2495	3995	5860
	25	66	145	257	405	562	990	1530	2205	3825	6295	8995
	40	104	216	408	615	910	1635	2545	3600	6230	9880	14390
14.0	15	50	121	205	310	465	810	1270	1870	3220	5215	7390
	25	85	195	331	520	740	1375	2080	3120	5200	8500	12560
	40	126	305	555	825	1210	2195	3425	4735	8510	13050	18630

جدول (19-3)

عامل الضغط والحجم النوعى بدلالة ضغط البخار

Pressure bar abs	Volume m3/Kg	Pressure factor	Pressure bar gauge	Volume m3/Kg	Pressure factor	Pressure bar gauge	Volume m3/Kg	Pressure factor
0.05	28.192	0.030	2.15	0.576	9.309	7.70	0.222	66.31
0.10	14.674	0.012	2.20	0.568	9.597	7.80	0.219	67.79
0.15	10.022	0.025	2.25	0.560	9.888	7.90	0.217	69.29
0.20	7.649	0.044	2.30	0.552	10.180	8.00	0.215	70.80
0.25	6.204	0.068	2.35	0.544	10.480	8.10	0.212	72.33
0.30	5.229	0.097	2.40	0.536	10.790	8.20	0.210	73.88
0.35	4.530	0.131	2.45	0.529	11.100	8.30	0.208	75.44
0.40	3.993	0.169	2.50	0.522	11.410	8.40	0.206	77.02
0.45	3.580	0.213	2.55	0.515	11.720	8.50	0.204	78.61
0.50	3.240	0.261	2.60	0.509	12.050	8.60	0.202	80.22
0.55	2.964	0.314	2.65	0.502	12.370	8.70	0.200	81.84
0.60	2.732	0.372	2.70	0.496	12.070	8.80	0.198	83.49
0.65	2.535	0.434	2.75	0.489	13.030	8.90	0.196	85.14
0.70	2.365	0.501	2.80	0.483	13.370	9.00	0.194	86.81
0.75	2.217	0.573	2.85	0.477	13.710	9.10	0.192	88.50
0.80	2.087	0.649	2.90	0.471	14.060	9.20	0.191	90.20
0.85	1.972	0.730	2.95	0.466	14.410	9.30	0.189	91.92
0.90	1.869	0.815	3.00	0.461	14.760	9.40	0.187	93.66
0.95	1.777	0.905	3.10	0.451	15.480	9.50	0.185	95.41
1.01	1.673	1.025	3.20	0.440	16.220	9.60	0.184	97.18
bar gauge			3.30	0.431	16.980	9.70	0.182	98.96
0.00	1.673	1.025	3.40	0.422	17.750	9.80	0.181	100.75
0.05	1.601	1.126	3.50	0.413	18.540	9.90	0.179	102.57
0.10	1.533	1.230	3.60	0.405	19.340	10.00	0.177	104.40
0.15	1.471	1.339	3.70	0.396	20.160	10.20	0.174	108.10
0.20	1.414	1.453	3.80	0.389	21.000	10.40	0.172	111.87
0.25	1.361	1.572	3.90	0.381	21.850	10.60	0.169	115.70
0.30	1.312	1.694	4.00	0.374	22.720	10.80	0.166	119.59
0.35	1.268	1.822	4.10	0.367	23.610	11.00	0.163	123.54
0.40	1.225	1.953	4.20	0.361	24.510	11.20	0.161	127.56
0.45	1.186	2.090	4.30	0.355	25.430	11.40	0.158	131.64
0.50	1.149	2.230	4.40	0.348	26.360	11.60	0.156	135.78
0.55	1.115	2.375	4.50	0.342	27.320	11.80	0.153	139.98
0.60	1.083	2.525	4.60	0.336	28.280	12.00	0.151	144.25
0.65	1.051	2.679	4.70	0.330	29.270	12.20	0.149	148.57
0.70	1.024	2.837	4.80	0.325	30.270	12.40	0.147	152.96
0.75	0.997	2.999	4.90	0.320	31.290	12.60	0.145	157.41
0.80	0.971	3.166	5.00	0.315	32.320	12.80	0.143	161.92
0.85	0.946	3.338	5.10	0.310	33.370	13.00	0.141	166.50
0.90	0.923	3.514	5.20	0.305	34.440	13.20	0.139	171.13
0.95	0.901	3.694	5.30	0.301	35.520	13.40	0.135	175.83
1.00	0.881	3.878	5.40	0.296	36.620	13.60	0.133	180.58
1.05	0.860	4.067	5.50	0.292	37.730	13.80	0.132	185.40
1.10	0.841	4.260	5.60	0.288	38.860	14.00	0.130	190.29
1.15	0.823	4.458	5.70	0.284	40.010	14.20	0.128	195.23
1.20	0.806	4.660	5.80	0.280	41.170	14.40	0.127	200.23
1.25	0.788	4.866	5.90	0.276	42.350	14.60	0.125	205.30
1.30	0.773	5.076	6.00	0.272	43.540	14.80	0.124	210.42
1.35	0.757	5.291	6.10	0.269	44.760	15.00	0.122	215.61
1.40	0.743	5.510	6.20	0.265	45.980	15.20	0.121	220.86
1.45	0.728	5.734	6.30	0.261	47.230	15.40	0.119	226.17
1.50	0.714	5.961	6.40	0.258	48.480	15.60	0.118	231.54
1.55	0.701	6.193	6.50	0.255	49.760	15.80	0.117	236.97
1.60	0.689	6.429	6.60	0.252	51.050	16.00	0.115	242.46
1.65	0.677	6.670	6.70	0.249	52.360	16.20	0.114	248.01
1.70	0.665	6.915	6.80	0.246	53.680	16.40	0.113	253.62
1.75	0.654	7.164	6.90	0.243	55.020	16.60	0.111	259.30
1.80	0.643	7.417	7.00	0.240	56.380	16.80	0.110	256.03
1.85	0.632	7.675	7.10	0.237	57.750	17.00	0.109	270.83
1.90	0.622	7.937	7.20	0.235	59.310	17.20	0.108	276.69
1.95	0.612	8.203	7.30	0.232	60.540	17.40	0.107	282.60
2.00	0.603	8.473	7.40	0.229	61.960	17.60	0.106	288.58
2.05	0.594	8.748	7.50	0.227	63.390	17.80	0.105	294.62
2.10	0.585	9.026	7.60	0.224	64.840	18.00	0.104	300.72

جدول (3-20)

قطر مواسير البخار وسرعة السريان بدلالة عامل هبوط الضغط وسعة تدفق البخار

		15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm	175 mm	200 mm	225 mm	250 mm	300 mm
F		0.25"	0.5"	1"	1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	8"	10"	12"
0.00016	x						30.4	55.41	80.72	199.1	360.4	598.2	890	1275	1755	2329	3800
	y						4.3	4.86	5.55	6.82	7.9	9.16	10.05	10.94	11.94	12.77	14.54
0.0002	x					16.18	34.32	62.77	103	225.6	407	662	1005	1437	1966	2623	4276
	y					3.96	4.85	5.51	6.31	7.72	8.92	10.13	11.34	12.33	13.37	14.38	16.36
0.00025	x				10.84	17.92	38.19	69.31	113.2	249.9	450.3	735.5	11.08	1678	2183	2904	4715
	y				3.74	4.39	5.4	6.08	6.92	8.56	9.87	11.26	12.51	14.4	14.85	15.92	18.04
0.0003	x				11.95	19.31	41.83	75.85	124.1	271.2	491.9	804.5	1209	1733	2390	3172	5149
	y				4.13	4.73	5.92	6.65	7.62	9.29	10.79	12.31	13.65	14.87	16.26	17.39	19.7
0.00035	x			6.86	12.44	20.59	43.76	80.24	130	285.3	519.2	845.3	1279	1823	2497	3346	5406
	y			3.88	4.3	5.04	6.21	7.04	7.96	9.77	11.39	12.94	14.44	15.64	17	18.34	20.69
0.00045	x		3.62	7.94	14.56	23.39	50.75	92.68	150.9	333.2	604.6	979.7	1478	2118	2913	3884	6267
	y		3.54	4.49	5.03	5.73	7.18	8.13	9.24	11.42	13.28	15	16.68	18.18	19.82	21.29	23.99
0.00055	x		4.04	8.99	16.18	76.52	57.09	103.8	170.8	373.1	674.2	1101	1663	2382	3281	3438	70.57
	y		3.96	5.09	5.59	6.49	8.08	9.1	10.46	12.78	14.78	16.85	18.77	20.44	22.32	23.78	27.01
0.00065	x		4.46	90.56	17.76	29.14	62.38	113.8	186.7	409.8	739.9	1207	1823	2595	3597	4781	7741
	y		4.37	5.41	6.13	7.14	8.82	9.98	11.43	14.04	16.22	18.49	20.59	22.27	24.47	26.21	29.62
0.00075	x		4.87	10.57	19.31	31.72	68.04	124.1	203.2	445.9	804.5	1315	1977	2836	3908	5172	8367
	y		4.77	5.98	6.67	7.77	9.62	10.88	12.44	15.28	17.64	20.13	22.32	24.34	26.59	28.35	32.02
0.00085	x		5.52	11.98	21.88	35.95	77.11	140.7	230.2	505.4	911.8	1490	2240	3215	4429	5861	9482
	y		5.41	6.78	7.56	8.8	10.91	12.34	14.09	17.32	19.99	22.81	25.29	27.59	30.13	32.18	36.29
0.001	x	1.96	5.84	12.75	23.5	38.25	81.89	148.6	245.2	539.4	968.5	1579	2403	3383	4707	6228	10052
	y	4.10	5.72	7.21	8.12	9.37	11.58	13.03	15.01	18.48	21.24	24.17	27.13	29.03	32.02	34.14	38.47
0.00125	x	2.10	6.26	13.57	24.96	40.72	87.57	159.8	261.8	577.9	1038	1699	2544	3634	5035	6655	10639
	y	4.39	6.13	7.68	8.62	9.97	12.39	14.02	16.03	19.8	22.76	26.01	28.72	31.19	34.26	36.48	40.71
0.0015	x	2.39	7.35	15.17	28.04	45.97	98.84	179.3	295.1	652.8	1172	1908	2896	4091	5631	7493	11999
	y	5.00	7.20	8.58	9.68	11.26	13.98	15.72	18.07	22.37	25.7	29.21	32.69	35.11	38.31	41.08	45.92
0.00175	x	2.48	7.51	16.3	29.61	49.34	103.4	188.8	311.1	686.5	1270	2017	3046	4291	5921	7852	13087
	y	5.19	7.36	9.22	10.23	12.08	14.63	16.56	19.05	23.52	27.85	30.89	34.39	36.83	40.28	43.04	50.08
0.002	x	2.84	8.58	18.63	33.83	56.39	119.2	215.8	355.5	784.6	1451	2305	3482	4904	6767	8974	14956
	y	5.94	8.40	10.54	11.68	13.81	16.72	18.93	21.77	26.88	31.82	35.78	39.31	42.09	46.04	49.19	57.24
0.0025		3.16	9.48	20.75	37.25	61.3	132	240.5	391.3	881.7	1556	2546	3819	5422	7544	10090	16503
	y	6.61	9.29	11.74	12.86	15.01	18.67	21.09	23.96	30.21	34.12	38.97	43.11	46.53	51.33	55.31	63.16
0.003	x	3.44	10.34	22.5	40.45	66.66	143.4	262	429.8	942.4	1701	2767	4183	6068	8275	11033	18021
	y	7.20	10.13	12.73	13.97	16.33	20.29	22.98	26.32	32.29	37.3	42.38	47.22	52.08	56.3	60.48	68.97
0.004	x	4.17	12.50	26.97	48.55	80.91	173.1	313.8	514.9	1128	2040	3330	5051	7208	9905	13240	21625
	y	8.73	12.25	15.26	16.77	19.82	24.49	27.52	31.53	3885	44.73	50.97	57.02	61.86	67.39	72.58	82.76
0.005	x	4.71	14.12	30.4	54.92	90.23	196.1	354	578.6	1275	2305	3727	5737	8189	11278	14858	24469
	y	9.86	13.83	17.2	18.97	20.1	27.74	31.05	35.43	43.68	50.54	57.05	64.76	70.28	76.73	81.45	93.64
0.006	x	5.25	15.69	35.8	60.31	99.05	215.8	329.3	647.3	1412	2550	4148	6277	9072	12406	16476	26970
	y	10.99	15.37	20.26	20.93	24.26	30.53	34.41	39.63	48.38	55.92	63.5	70.86	77.86	84.4	90.32	103.21
0.008	x	6.08	18.34	39.23	70.12	116.2	251.5	456	750.3	1648	2976	4879	7355	10543	14417	19173	31384
	y	12.72	17.97	22.2	24.22	28.46	35.58	40	45.95	56.46	65.26	74.69	83.03	90.48	98.09	105.1	120.1
0.01	x	6.86	70.64	44.13	79.44	130.4	283.9	514.9	845.9	1863	3334	5492	8336	11861	16280	71576	35307
	y	14.36	20.22	24.97	27.44	31.94	40.16	45.16	51.8	63.83	73.11	84.07	94.11	101.8	110.8	118.2	135.1

تابع جدول (20-3)

قطر مواسير البخار وسرعة السريان بدلالة عامل هبوط الضغط وسعة تدفق البخار

F		15 mm 0.25"	20 mm 0.5"	25 mm 1"	32 mm 1.25"	40 mm 1.5"	50 mm 2"	65 mm 2.5"	80 mm 3"	100 mm 4"	125 mm 5"	150 mm 6"	175 m 7"	200 m 8"	225 mm 9"	250 mm 10"	300 mm 12"
0.0125	x	7.35	22.20	47.28	81	140.1	302.1	547.3	901.9	1983	3589	5867	8844	12697	17426	23074	37785
	y	15.38	21.75	26.75	27.98	34.31	42.74	48	55.22	67.94	78.7	89.81	99.84	109	118.5	126.5	144.6
0.015	x	8.27	25.00	53.33	95.62	157.2	342	620.6	1020	2230	4045	6620	10022	14251	19584	25974	42616
	y	17.31	24.49	30.18	33.03	38.5	48.38	54.43	62.46	76.4	88.7	101.3	113.1	122.3	133.2	142.4	163.05
0.0175	x	8.58	26.39	55.78	100.4	165.6	360.4	665.1	1073	2360	4281	6994	10512	15017	20595	27461	44194
	y	17.85	25.85	31.56	34.68	40.65	50.99	58.34	65.7	80.52	94.05	107.1	118.7	128.9	140.1	150.5	169.1
0.02	x	9.80	30.16	63.75	114.7	189.3	411.9	760.1	1226	2697	4904	7993	12014	17163	23538	31384	50508
	y	20.51	29.55	36.07	39.62	46.36	58.27	66.67	75.01	92.41	107.5	122.3	135.6	147.3	160.1	172	193.3
0.025	x	10.99	33.48	70.73	127.3	209.8	459.7	834.6	1367	2970	5422	8817	13296	19332	26357	34750	56581
	y	23.00	32.80	40.02	43.97	51.39	65.03	73.2	83.7	101.7	118.9	135	150.1	165.9	179.3	190.5	216.5
0.03	x	12.00	36.78	77.23	137.9	229.9	501.1	919.4	1480	3264	5884	9792	14481	20917	28595	37697	62522
	y	25.11	36.03	43.7	47.63	56.31	70.89	80.64	90.62	111.8	129	149.9	163.5	179.5	194.5	206.6	239.3
0.04	x	14.46	44.13	93.17	169.2	279.5	600.7	1093	1790	3923	7110	11622	17457	25254	34571	45604	75026
	y	30.26	43.23	52.72	58.44	68.46	84.98	95.87	109.6	134.4	155.9	17.9	197.1	216.7	235.2	250	287.1
0.05	x	16.43	49.53	104.4	191.2	313.8	676.7	1231	2020	4413	8042	13044	19370	28441	39229	51489	85324
	y	34.38	48.52	59.08	66.04	76.86	95.73	108	123.7	151.2	176.3	199.7	218.7	244.1	266.9	282.3	326.5
0.06	x	18.14	52.96	115.7	210.8	343.2	750.3	1373	2231	4855	8827	14368	21282	31384	43152	57373	
	y	37.96	51.88	65.47	72.81	84.06	106.1	120.4	136.6	166.3	193.5	219.9	240.2	269.3	293.6	314.5	
0.08	x	21.08	62.28	134.8	245.2	402.1	872.8	1594	2599	5688	10249	16672	24518	36532			
	y	44.11	61.02	76.28	86.69	98.49	123.5	139.8	159.1	194.9	224.7	255.2	276.8	313.5			
0.1	x	24.03	70.12	152	277	456	980.7	1804	2942	6424	11524	18879	27461				
	y	50.29	68.70	86.01	95.67	111.7	138.7	158.2	180.1	22.01	252.7	289	310				
0.12	x	25.99	77.48	167.7	306.5	500.2	1079	1986	3236	7110	12700	20841					
	y	54.39	75.91	84.9	105.9	122.5	152.6	174.2	198.1	243.6	278.5	319					
0.15	x	25.50	84.13	183.9	334.2	551.7	1195	2161	3494	7769							
	y	59.64	82.42	104.1	115.4	135.1	169	159.5	213.9	266.2							
0.2	x	34.32	102.00	220.7	402.1	662	1427	2599	4217	9317							
	y	71.82	99.93	124.9	138.9	162.1	201.9	228	258.2	319.2							
0.25	x	37.72	112.70	245.2	447.9	735.5	1565	2876	4668								
	y	78.94	110.40	138.7	154.7	180.1	221.4	252.3	285.8								
0.3	x	41.37	122.70	266.6	487.3	804.5	1710	3126	5057								
	y	86.58	120.20	150.9	168.3	197	241.9	274.2	309.6								
0.35	x	43.34	128.70	283.2	514.9	841	1802	3261									
	y	90.70	126.10	160.2	177.8	206	254.9	286									
0.4	x	49.93	147.10	323.6	588.4	961.1	2059	3727									
	y	104.50	144.10	183.1	203.2	235.4	281.3	376.9									
0.45	x	50.31	150.00	326.6	600.2	978.7	2083										
	y	105.30	146.90	184.8	207.3	239.9	294.7										
0.5	x	55.90	166.70	362.9	666.9	1089	2314										
	y	117.00	163.30	205.3	230.3	266.7	327.4										
0.6	x	62.28	185.30	402.1	735.5	1201											
	y	130.30	181.50	227.5	254	294.1											
0.7	x	63.07	188.8	407.6	750.9												
	y	132.00	185.00	230.6	259.3												
0.8	x	72.08	215.80	465.8	858.1												
	y	150.80	211.40	263.6	296.4												
0.9	x	73.28	218.40	476.6													
	y	153.3	214.00	269.7													

x سعة تدفق البخار = kg/h capacity

y السرعة = m/s velocity with a volume of 1m3/kg

(3-4) المواد العازلة Insulating Materials

من أهم أسباب الفقد الحرارى فى المواسير الواصلة بين الغلاية والعمليات الصناعية المختلفة هو عدم العزل أو العزل غير الجيد حراريا لهذه المواسير .

توجد أنواع متعددة من المواد العازلة الحرارية المستخدمة تتحمل درجات الحرارة المتوسطة والتى تستخدم لعزل خطوط مواسير البخار مثل : الميكا – الصوف الزجاجى – الماغنسيا – سليكات الكالسيوم . وتشكل المواد العازلة الحرارية على أحد الصور التالية: طبقات رقيقة – حبال – ألواح صلب – شرائط – مواد لاصقة – حشوات سائبة .

توجد عدة عوامل يجب أخذها فى الاعتبار عند إختيار المواد العازلة الحرارية وهى :

1- درجة حرارة التشغيل

يجب أن تكون مادة عزل السطح مناسبة لدرجة حرارة التشغيل بحيث لا تنصهر أو تتحلل أو تتفكك .

2- أقصى درجة حرارة يمكن أن يتعرض لها العزل الحرارى

أحيانا يتطلب لتنظيف وصيانة بعض المعدات تسخينها لدرجة حرارة أعلى من أقصى درجة حرارة تشغيل.لذا يجب أن يتعرض لأقصى درجة حرارة يمكن أن يتعرض لها العزل .

3- درجة حرارة السطح الخارجى للعزل الحرارى

مراعاة لعدم إصابة العاملين عند التلامس بالصدفة أو بالخطأ للسطح الخارجى للعزل الحرارى يجب ألا تزيد درجة حرارة السطح بعد العزل عن 60 درجة مئوية .

4- الموصولية الحرارية

يعتمد حساب الفقد الحرارى على الموصولية الحرارية لمادة العزل عند درجة حرارة التشغيل وعلى سمك المادة العازلة .

5- الوقاية من الحريق والمقاومة الحرارية للعزل

يجب أن تقاوم المواد العازلة الحرارية الحريق لذا تختار درجة حرارة انصهار المادة

العازلة مرتفعة وتتحكم المقاومة الحرارية للعزل فى ارتفاع درجة الحرارة ومعدل تبخر السائل المستخدم فى الحريق .

6- وزن المادة العازلة

يجب أن يتوافر فى المادة العازلة ما يلى :

- تتحمل الحركة التمددية الحرارية للمواسير المغطاة بالمادة العازلة .
- تقاوم الانهيارات الناتجة من الإهتزازات الميكانيكية للمواسير .
- الإستقرار الحرارى للمادة العازلة لإمكانية التحكم فى معدلات التسخين .

7- التـآكـل

عند تعرض المادة العازلة للمياه يحدث تآكل لها .

8- تكاليف التركيب

تعتمد التكاليف على سمك المادة العازلة والمساحات المطلوب عزلها .

يوضح جدول (21-3) خصائص بعض المواد العازلة الحرارية شائعة الإستخدام .

ويوضح جدول (22-3) خواص بعض مواد العزل الحرارى .

جدول (3-21) خصائص بعض المواد العازلة الحرارية شائعة الإستخدام

الموصولية الحرارية $(w / m\ ^0k)$	درجة الحرارة القصوى (^0C)	المادة العازلة
0.048 عند $200\ ^0C$	510	ألياف زجاجية مشكلة على شكل بلاطات ليفيه Glass Fiber (slabs)
0.058 عند $200\ ^0C$	310	مجنزيا 85% مشكلة على شكل بلاطات سابقة التجهيز Magnesia 85% (performed slabs)
0.061 عند $200\ ^0C$ 0.085 عند $600\ ^0C$	650 – 1010	سليكات الكالسيوم مشكلة على شكل بلاطات Calcium silicate (slabs)
0.054 عند $200\ ^0C$	760 – 950	ألياف معدنية صخرية مشكلة على شكل مواد سائبة Mineral Fiber - rock (loose fill)
0.063 عند $20\ ^0C$	980	ألياف السيليكا المشكلة على شكل مواد سائبة Silica Fibers (loose fill)
0.024 عند $20\ ^0C$	145	ايزوسياتوريت مشكل على شكل مادة رغوية Isocyanurate (foam)
0.024 عند $20\ ^0C$	100	بولى يوريثين مشكل على شكل مادة رغوية متماسكة Polyurethane (rigid foam)

جدول (3-22)

خواص بعض مواد العزل الحرارى

نوع مادة العزل	مكون وشكل المادة العازلة	الإستخدام	الموصولية الحرارية عند درجات حرارة مختلفة (w/m^0C)						الكثافة kg/m^3	أقصى درجة حرارة (^0C)	درجة حرارة التشغيل (^0C)
			20	50	100	200	400	500			
الصوف الصخرى Rock wool	صخر معزول متماسك بصمغ الفينول	تبطين الغلايات والأفران مرتفعة الحرارة	0.037	0.04	0.045	0.066	0.12	-	30 - 250	950	750
الصوف الزجاجى Fiber glass	ألياف زجاجية بمادة ربط عضوية على شكل ألواح ذات سمك وكثافة مختلفة	تغطية مواسير البخار والمياه الساخنة	0.035	0.038	0.04	0.055	0.1	-	16 - 200	550	250
سيليكات الكالسيوم Calcium silicate	مصنع من الرمل والجير والألياف المعدنية على شكل ألواح وكتل سابقة التجهيز	تغطية مواسير البخار والمياه الساخنة	0.04	0.05	0.056	0.066	0.094	0.112	100 - 230	1000	700
ماجنيزيا 85 Magnesia 85 %	تخلط مع الإسبستوس أو المياه كخلطة رطبة ، وتستخدم فى شكل مادة لاصقة	تغطية مواسير البخار والمياه الساخنة	0.061	-	-	-	-	-	240	310	280

(3-5) مصايد البخار Steam Traps

مصيدة البخار هى "مصيدة" للبخار داخل نظام البخار ، بمعنى آخر المصيدة جهاز يسمح بمرور المتكاثف والهواء والغازات الغير قابلة للتكثف بينما يمنع فقد البخار النشط وإعادته للشبكة . إذا وجد الهواء مع البخار فإنه يعمل كعازل ويخفض انتقال الحرارة ويؤدى الى مشاكل متعددة وخطيرة. يؤدى الأكسجين الموجود فى الهواء إلى تآكل خطوط البخار ثم حدوث نقر فى المواسير ثم انهيارها . إذا لم يمكن التخلص من ثانى أكسيد الكربون (والموجود أيضا فى مياه التغذية) قبل وصوله إلى خطوط المتكاثف المسترجع فإنه يكون حمض كربونى يعمل على تآكل معدن المواسير .

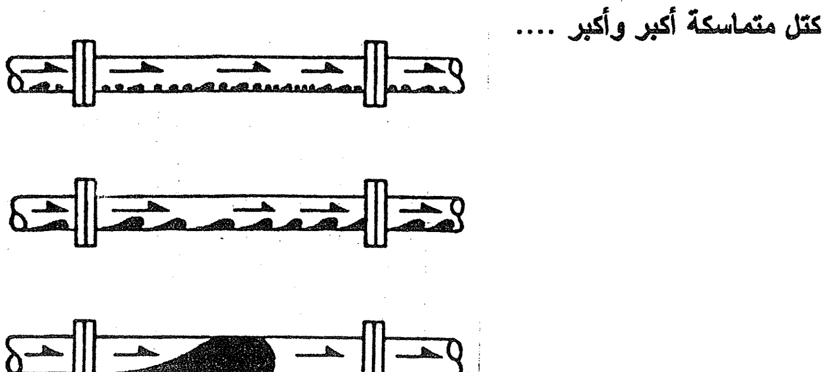
لماذا يجب التخلص من المتكاثف ؟

متكاثف البخار هو مياه عالية النقاء عند درجات حرارة بين المتوسطة والمرتفعة .

ويجب التخلص منها للأسباب الأتية :

1- وجود المتكاثف يسبب ظاهرة البخار المحتبس بالمياه (water logged) ، إلى حد يجعله ثقيلا وصعب القياد ، وهذا يؤدى إلى انخفاض كفاءة وسائل الأنتقال الحرارى .

2- تجمع المتكاثف أسفل أنابيب البخار واندفاعه على طول الأنبوبة نتيجة سرعة البخار العالية ، كما فى شكل (6-3) حيث تتحرك المياه وتجمع معها القطرات الصغيرة مكونة كتل متماسكة أكبر وأكبر ....



شكل (6-3) تحرك المياة وتجمع القطرات الصغيرة مكونة كتل صلبة متماسكة

ينتج عن ذلك طاقة كبيرة ، تسبب انهيارات خطيرة مصحوبة بظاهرة الطرق المائى (water hammer) وهو صوت طرق المياه على جوانب الأنبوب الذى يحتويه ، الطرق المائى المتعدد يمكن أن يفجر المواسير ويؤذى الأشخاص وعادة يكون مصحوبا بتشوه حاد واضح فى المعدن .

الغازات الموجودة فى نظام البخار:

وجود الهواء والغازات فى نظام البخار تحد سريان البخار ودرجة الحرارة وتحدث طاقة حرارية ، يدخل الهواء عند بداية التشغيل . يطلق على الغازات الموجودة فى البخار بأنها غازات غير قابلة للتكثف (noncondensibles) ، ويكون لهذه الغازات حجم محسوس فإذا سمحت الظروف وتراكمت هذه الغازات لفترة طويلة فإنها تشغل حجما كافيا لاعاقة سريان البخار ، إذا لم ينصرف المتكاثف تحدث مخاطر.

تنطلق الغازات غير القابلة للتكثف فى الغلاية ويذوب الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى مياه التغذية كمركبات كربونية . عند حدوث تكاثف البخار تنزح هذه الغازات إلى سطح التبادل الحرارى مسببة طبقة عازلة على السطح كما فى شكل (7-3) هذه الطبقة تكون مؤثرة جدا وتؤدى الى مشاكل كبيرة عند الانتقال الحرارى

وجود صدأ الحديد يشكل بيكربونات قابلة للذوبان ، فى حالة وجود الأكسجين ينطلق ثانى أكسيد الكربون مؤديا إلى زيادة التأكسد والصدأ .

عندما تذوب هذه الغازات، يجب التخلص منها حتى لا تكون أحماض مدمرة مؤدية الى تآكل فى المواسير وانهيارات للمصايد والصمامات ......

1 2 3

Steam | Condensate | Noncondensible gases & air

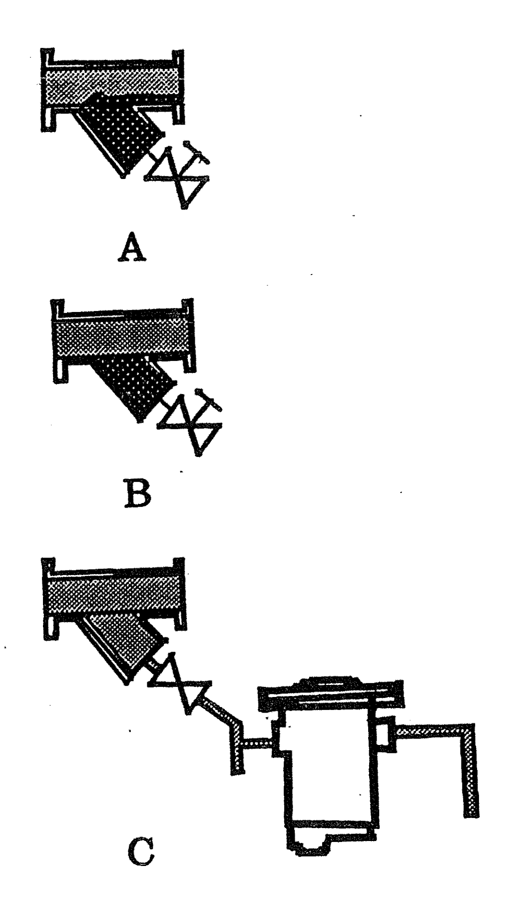
بخار | متكاثف | هواء وغازات غير قابلة للتكثف

شكل (7-3) تمثيل حالات البخار و المتكاثف و الهواء والغازات غير القابلة للتكثف

مصفاة البخار (Steam Strainer)

فى كثير من أنظمة البخار ، يتم التخلص من المتكاثف من خلال مصفاة البخار والموضحة فى شكل (3-8) وتستخدم المصفاه لحماية صمامات انخفاض الضغط ومصايد البخار بالإضافة الى أنها تحافظ على نظافة النظام .

تركب المصفاه فى أسفل موضع للنظام والتى من الطبيعى أن يتجمع بها المتكاثف.



شكل (3-8) مصفاة البخار

وظائف مصايد البخار :

تتلخص وظائف المصايد فى النقاط التالية :

1- التخلص من المتكاثف .

2- التخلص من الهواء والغازات الغير قابلة للتكثف .

3- منع أى فقد فى البخار النشط .

أسباب انهيار مصايد البخار :

1- دخول القمامه فى خطوط البخار ومنها إلى المصيدة .

تتمثل القمامة فى الأجسام الصلبة والرمل . ولمنع مرورها يفضل تركيب مصفاة قبل صمامات التخفيض أو العدادات أومصايد البخار. ويجب أن تنظف المصفاه دوريا حتى لا تسبب مشاكل إضافية.

2- حدوث الطرق المائى (water hammer)

والذى يحدث من المتكاثف المحمول على البخار ويتوقف عند المصايد أو الصمامات . وتكون سرعة البخار فى المواسير**100 متر/ساعة .** الصدمة الطبيعية لانخفاض السرعة **الفجائى يكون كافى لحدوث اهتزاز فى أجزاء المصيدة . وأسهل الحلول أن تكون المصيدة عند النقط المنخفضة فى خطوط البخار أو كل 150 قدم .**

3- التآكل

من أسباب انهيار المصايد حدوث تآكل فى جسم المصيده وإذا ظهر التآكل فيجب علاجه فورا .

4- اندفاع البخار الومضى من المتكاثف (flashing of condensate)

عند اندفاع البخار الومضى من المتكاثف بسرعة خلال المصيدة يحتمل أن يدفع معه مقعد الصمام (valve seat) .

5- حدوث تجمد فرعى

إذا كان نظام البخار يتم فصله ليلا أوفى نهاية الأسبوع فإن المصايد تتعرض لدرجة حرارة التجميد الفرعى (sub-freezing) حيث تتجمد المياه المتبقية فى المصايد . فإذا كان متوقعا أن تتعرض المصايد لهذه الحالة فإنه يفضل أن تستخدم مصايد من نوع الصرف الذاتى (self-draining)

فــى كثــير مــن المصـــانع ، أغلــب المصــايد المســتخدمة تحتــوى علــى وســيلة أمـــان (selfguard) تكشف عن عطل فى وضع الفتح (fail open) . إذا حــدث للمصيــدة عطـل فى وضع الإغلاق (fail closed) فإن المتكـاثف يعود إلـى خطـوط البخـار ، ويـؤدى الـى توقف العمليات . وهذا يؤدى الى تكلفه عالية للمصانع .

الخلاصة أن المصايد التى تكشف عطل فى وضع الفتح يصعب أن تكشف عطـل فـى وضـع الإغلاق ، بالإضافة الى أنه لا يميز بين عمل المصيدة والإشـتغال السـيىء للمصيـدة علـى الرغم من صغر مصايد البخـار ورخـص سـعرها وانخفـاض عمـر تشـغيلها بالنسـبة لبـاقى مكونات نظام البخار إلا أنـها تعتبر أحد الإختيـارات الهامـة والموفـرة لفـرص الترشيد لأى مصنع .

أنواع مصايد البخار

أول مصيدة بخار كانت عبارة عن مصيـدة لـوح الفوهـة (orifice plate) والممثلـة فـى شكل (3-9)

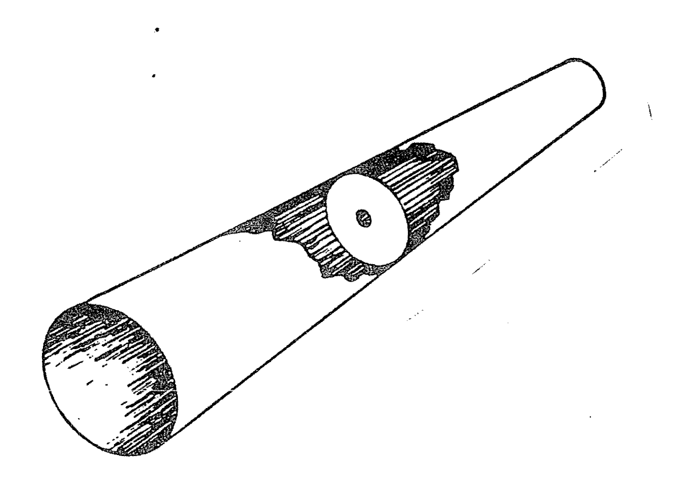
توجد أنواع مختلفة من المصايد كل منها تعمل بطريقه معينة للتمييز والفصل بين البخـار والمتكاثف وصنفت المصايد إلى :

- المصايد الميكانيكية (mechanical) والتى يعتمد تشغيلها علـى اختـلاف الكثافـه بيـن البخار والمتكاثف ويوضح شكل (3-10) هذه العلاقة .
- المصايـد الثرموستاتيكيـة (thermostatic) والتى يعتمد تشغيلها على الفـرق فـى درجات الحرارة .
- المصايد الثرموديناميكية (thermodynamic) والتى يعتمد تشغيلها على تغير الحالـة الفيزيائية .

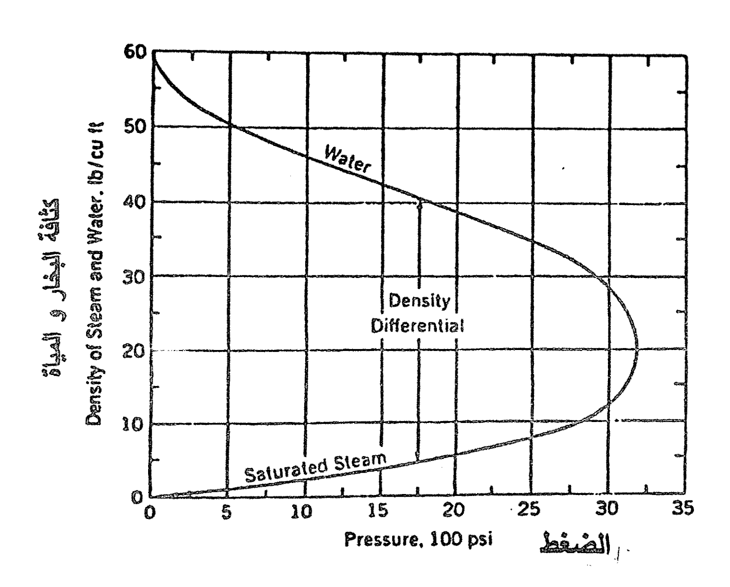
وفيما يلى بعض أنواع مصايد البخار :

1- مصيدة العوامة (Float Type Trap)

يوضح شكل (3-11)هذا النوع ، فعند وصول المتكاثف إلى جسم المصيدة ترتفـع العوامـة ويفتـح الصمـام. وعنـد سـقوط المتكـاثف يقفـل الصمـام ، ويلاحـظ فـى الشـكل أن الصمــام موضوع تحت مستوى المياه لمنع مرور البخار عند عمل المصيدة ، هذا يمنع أيضا مرور أى غازات أو هواء . لذا تحتوى المصيدة على منفس هواء .



شكل (9-3) مصيدة تحتوى على فوهة



شكل (10-3) العلاقة بين كثافة البخار و المياة مع الضغط

من النماذج المثالية للمصايد البخارية المصيدة ذات العوامة المحتوية على منفس ثرموستاتى للهواء (Float and thermostatic steam trap) ، والذى عن طريقه يتم التخلص من الهواء وتصريف المتكاثف بمجرد تكونه .

يوضح شكل (12-3) ، (13-3) مقارنة للنوع ذى العوامة فقط والنوع ذى العوامة المحتوية على المنفس الثرموستاتى .

2- مصيدة الدلو المقلوب (Inverted Bucket Trap)

تتكون المصيدة من دلو مقلوب مفصلى متصل برافعة وعمود صمام كما فى شكل (14-3) فى الوضع العادى يكون الدلو (Bucket) فى الجزء السفلى ويكون الصمام مفتوحا ، ويسمح بتفريغ الهواء والغازات .

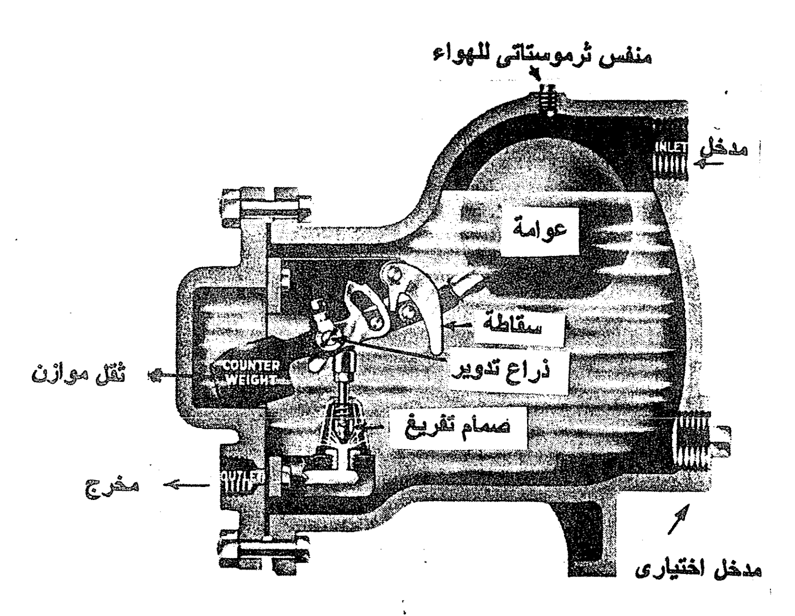
عند وصول المتكاثف فانه يحدث تسريب مياه حول قاعدة الدلو ، وعند دخول البخار يرتفع الدلو الى أعلى ويقفل الصمام . ثم يتسرب البخار ببطء من الفتحة العلوية ويمر المتكاثف فى الدلو وعند كمية كافية (من المتكاثف) يفقد خاصية الطفو . مرة أخرى يغطس الدلو ويفتح الصمام ويصاحبه تفريغ المتكاثف . يحتوى هذا النوع على منفس للتخلص من الهواء .

قبل بداية التشغيل يجب أن يكون حول الدلو مياه تعمل كمانع ، وعلى الرغم من أن هذا يجعله عرضة للوصول إلى حالة التجمد إلا أنه يقاوم تماما تسرب البخار وأيضا يقاوم حدوث الطرق المائى (water hammer) .

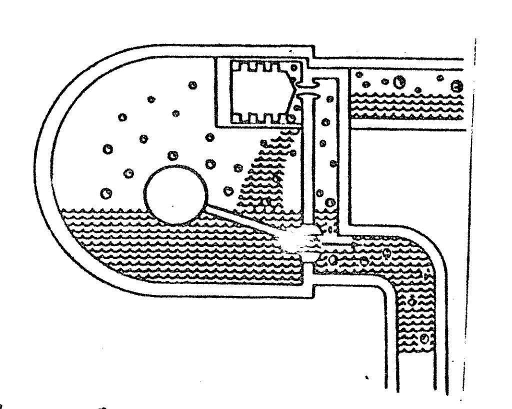
3- المصايد المنفاخية (Bellows actuated traps)

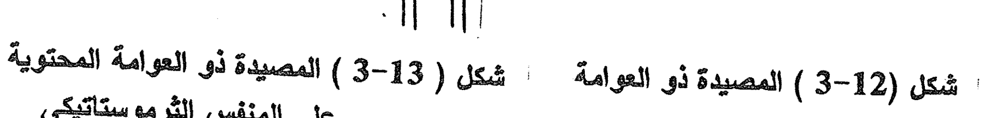
هذه المصيدة هى أحد أنواع المصايد الثرموستاتيكية (thermostatic) ومن الإسم يتضح أنها تعمل تبعا لاختلاف درجة الحرارة بين البخار والمتكاثف .

يوضح شكل (15-3) هذا النوع والذى يتكون من منفاخ مملوء بسائل يكون مسئولا عن الحركة الميكانيكة للصمام . فى البداية يكون الصمام مفتوحا ليسمح لأية غازات أو هواء فى النظام للمرور بحرية الى فتحة التهوية .عند وصول البخار إلى المصيدة يبدأ سائل المنفاخ فى الغليان وتؤدى قوىالتمدد إلى قفل الصمام عند انخفاض درجة حرارة المتكاثف عن درجة حرارة البخار يحدث انكماش لسائل المنفاخ ويفتح الصمام ويصرف المتكاثف ويجب أن يكون المنفاخ مرن ليسمح بالتمدد والإنكماش الثابت .



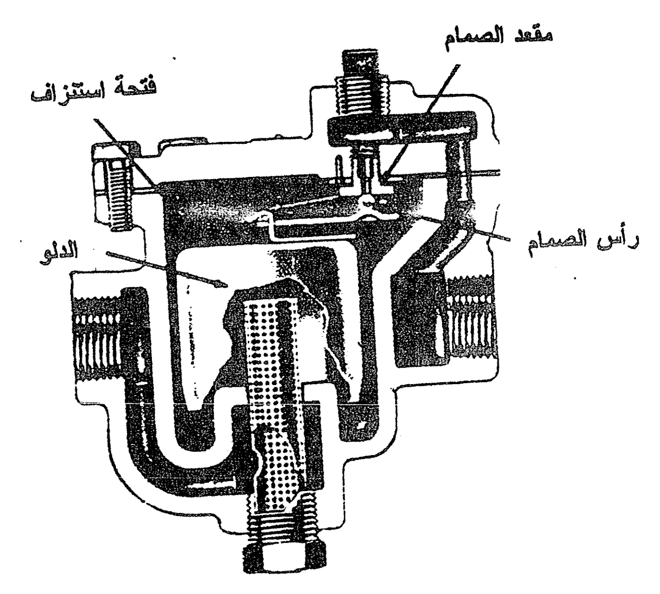
شكل (11-3) المصيدة ذو العوامة



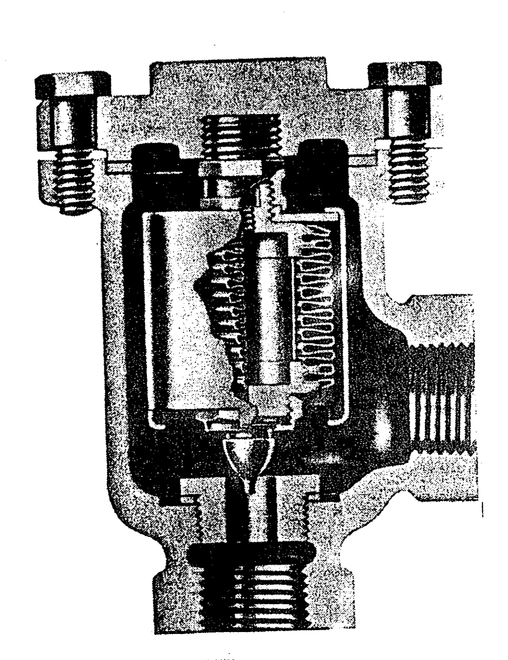


شكل (12-3) المصيدة ذو العوامة

شكل (13-3) المصيدة ذو العوامة المحتوية على المنفس الثرموستاتيكى



شكل (3-14) مصيدة الدلو المقلوب



شكل (3-15) مصيدة المنفاخ

معنى ذلك أن يكون المنفاخ رقيق (delicate) وهذا يؤدى الى أن تتعرض المصيدة لحدوث الطرق المائى .

4- مصيدة ثنائية المعدن (Bimetalic Trap)

يوضح شكل (16-3) هذا النوع والذى يعتبر من الأنواع الحديثة . يعتمد تشغيل الصمام على اختلاف معامل التمدد (coefficient of expansion) لدرجتين من الصلب .

تشكل المادتين معا على شكل مثلث وهذا يسمح بالحركة الرأسية للصمام . فى البداية يكون الصمام مفتوحا ليسمح بمرور أية غازات أو هواء . عند وصول البخار الى المصيدة يتمدد المثلث بالكامل مؤديا إلى قفل الصمام .

تمتاز هذه المصيدة بأنها لا تتأثر لحالة الطرق المائى ولكن زمن استجابتها منخفض .

5- مصيدة قرص ثرموديناميكى (Thermodynamic Disc Trap)

يوضح شكل (17-3) هذا النوع والذى يعتمد فى تشغيله على اختلاف الطاقة المتاحة لكل من المتكاثف والبخار . فى البداية ونتيجة ضغط البخار فإن القرص يكون الى أعلى ويسمح بمرور أية غازات أو هواء . أيضا المتكاثف الذى لم تصل درجة حرارتة إلى التشبع يمر بحرية . عند وصول البخار إلى المصيدة ، يرتفع الضغط خلف القرص مسببا قفل القرص .عند تكاثف البخار إلى مياه، لا يستمرالضغط طويلا ويفتح الصمام مرة ثانية.

أسباب تسريب البخار من المصيدة

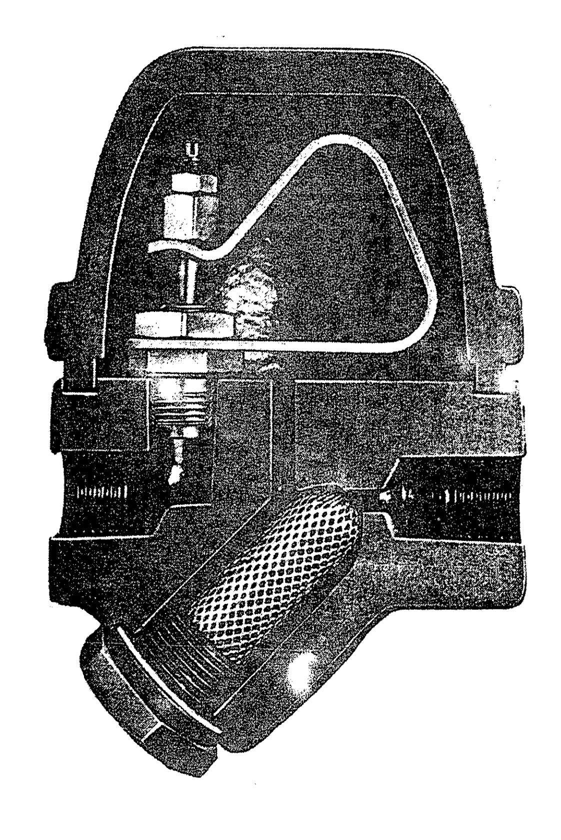
تشبه مصايد البخار جميع المعدات الميكانيكية من حيث تعرض أجزاءها المتحركة الى الإحتكاك والصدأ والتآكل ثم الإنهيار بالإضافة إلى أن المصايد تصنف ضمن معدات التشغيل القاسى .

تؤدى المصايد وظيفتها بطريقة متقطعة (أو متتابعة أو متتالية: فتح / قفل / فتح ...) . يمكن أن يصل عدد مرات فتح وقفل المصيدة النموذجية الى ملايين المرات فى العام وهذا يؤدى الى حتمية حدوث بعض الأحتكاكات والتشغيل الخاطىء والانهيارات والفقد فى البخار .

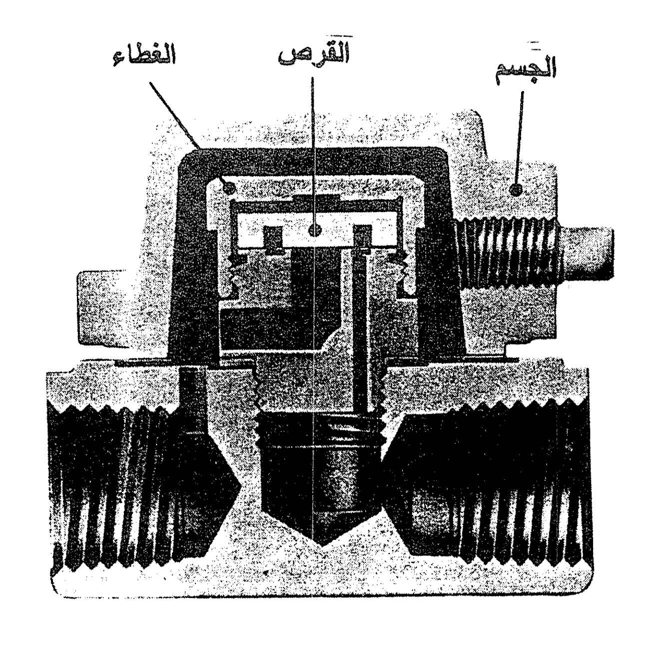
من الأسباب الرئيسية لتسريب البخار من المصايد :

1- إستجابة المصيدة للعمل بطيئة جدا

أثناء دورة القفل لا تقفل المصيدة بالسرعة الكافية لمنع هروب بعض البخار .



شكل (3-16) مصيدة ثنائية المعدن



شكل (3-17) مصيدة قرص ديناميكى حرارى

2- تسريب من المصيدة فى وضع الإغلاق

يحدث هذا عند وجود عطل أو خلل فى الحركة الميكانيكية لعملية القفل - أو يكون السطح غير محكم فيسمح بالتسريب من خلاله .

3- عطل فى وضع الإغلاق بالكامل

يحدث هذا نتيجة وجود عطل ميكانيكى.

4- عطل فى وضع الفتح للمصيدة

حيث يسمح للبخار بالاندفاع من فتحة المصيدة .

يوضح شكل (3-18)هذه الأعطال

اختيار مصيدة البخار

توجد عدة طرق متعددة للكشف عن التسرب فى المصيدة . ويجب عند وضع برنامج صيانة مصايد البخار اختيار أحسن الطرق للكشف عن التسرب بالمصيدة . والملاحظة المرئية هى أكثر الطرق شيوعا.

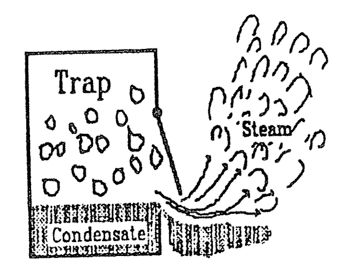
إذا كان الصرف إلى الجو مجهزا فى الخط بعد المصيدة مباشرة ، فإنه يمكن فتحه لملاحظة أو مراقبة ما اذا كان الخارج بخارا أو متكاثفا للتأكد وللحصول على أقصى عمر لمصايد البخار ، بالإضافة الى أقصى كفاءة لنظام البخار ، فإنه يجب أن يختار نوع وحجم المصيدة بحيث يتوافق بدقة مع طبيعة التطبيق المطلوب .

ومن الأهمية معرفة أنه لا توجد مصيده بخار "عامة" بمعنى أنه يمكن استخدامها بكفاءة مع جميع تطبيقات نظم البخار . وللحصول على كفاءة عالية لاصطياد البخار يجب أن يدرك المستهلك الأنواع والأحجام المختلفة لمصايد البخار وذلك حتى يمكن الأختيار بدقة

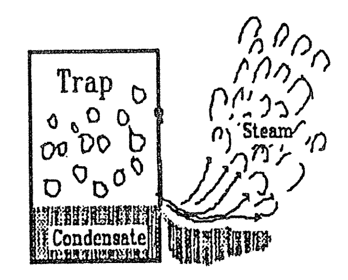
ومن العوامل المؤثرة فى اختيار مصايد البخار :

1- تنفيس الهواء (Air Venting)

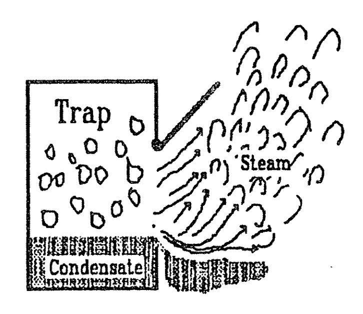
من الخصائص الرئيسية لمصايد البخار مقدرتها على التخلص من الهواء عند بداية التشغيل . ويتم تنفيس الهواء من خلال منفس هواء ثرموستاتى كما فى المصايد ذات العوامة أو من فوهات بمقاسات محددة (أوثقب لوح الفوهة) كما فى المصايد الثرموديناميكية أو من خلال ثقب دقيق للنزف كما فى مصيدة الدلو المقلوب .



أ- عطل فى وضع الاغلاق الكامل او البطىء



ب- تسريب فى وضع الاغلاق



ج- عطل فى وضع الفتح

شكل (18-3) تمثيل فقد البخار بالمصايد

(ادارة طلب الطاقة -١)

ومن أفضل هذه الأنواع منفس الهواء الثرموستاتى.

2- الطرق المائى (Water Hammer)

تتلف مصايد البخار وتحود عن وظائفها إذا تعرضت للطرق المائى . لا تتعرض المصايد الثرموديناميكية للتلف بفعل الطرق المائى ، بينما فى المصايد الميكانيكية تكون المصايد ذو الدلو المقلوب أكثر تحملا ومقاومة للطرق المائى عن النوع ذى العوامة .

3- التخلص من المتكاثف

يتم التخلص من المتكاثف عند درجة حرارة البخار ويعتبر الإحتباس المائى (water logging) من أسباب تلف لوح الأنابيب فى المبادلات الحرارية ذات الغلاف والأنبوب ، لذا يفضل اختيار المصايد الميكانيكية . ويمكن اختيار أنواع أخرى بحيث تمتاز بدورة تشغيل سريعة التكرار .

4- القاذورات

يجب ألا تتعرض إبرة الصمام والمقعدة لأية قاذورات .

فى المصايد ذات العوامة نلاحظ أن إبرة الصمام والمقعد مغمورتان أسفل منسوب المياه مما يمنع عنهما القاذورات التى قد تتجمع عند سطح المياه أو تتراكم عند قاع المصيدة .

فى مصايد الدلو المقلوب قد يتعرض منفس الهواء إلى الإنسداد بالقاذورات والذى يؤدى إلى احتجاز الهواء ، وتعطل المصيدة فى وضع الإغلاق .

تزود المصايد الثرموديناميكية بمصفاة (strainer) تناسب ظروف وجود القاذورات ، ونتيجة سرعة التدفق العالية فإن القرص والمقعد يظلا نظيفين .

وفى مصايد لوح الفوهة يكون الثقب صغيرا بحيث يتعرض للإنسداد بالقاذورات بعد تركيبه بوقت قصير .

5- إحتباس البخار (steam locking)

عند تركيب مصيدة البخار بعيدة عن المعدات التى يتم تصريفها فمن الممكن التعرض لإحتباس البخار .

لذا يجب اختيار المصايد بحيث تحتوى على وسيلة لمنع إحتباس البخار ، مثل الصمام الإبرى (needle valve) الموجود فى مصايد العوامة .

6- الصيانة

تحتوى المصايد على أجزاء متحركة ولذا يجب تجنب وتفادى حدوث احتكاكات وانهيارات وبالتالى يجب توفير الصيانة اللازمة للمصايد .

الأنواع الحديثة تكون عبارة عن وحدات محكمة الغلق (sealed units) والتى لا تحتاج لعمليات الصيانة ولكن يتم تغيرها بالكامل عند الضرورة .

أعطال مصايد البخار

مما سبق يتضح أن مصايد البخار هى نبيطة هامة جدا تصل بين شبكة (نظام) البخار وشبكة (نظام) المتكاثف . وتتركز أعطال المصايد فى :

1- عطل فى وضع الإغلاق (Fail closed)

ينتج من الإحتباس المائى بالمتكاثف .

2 – عطل فى وضع الفتح (Fail Open)

يسبب فقد البخار النشط .

3- التشغيل غير الكفء لمصايد البخار

ويؤدى إلى فقد فى البخار .

إختبار مصايد البخار

1- الصوت

عن طريق الإستماع إلى الصوت الناتج أثناء تشغيل المصيدة .

يوضح جدول (3-23) أصوات التشغيل السليم وفى حالة حدوث عطل لأنواع المصايد المختلفة .

2- درجة الحرارة

عن طريق قياس درجة الحرارة عند مدخل المصيدة وعند مخرج التصريف ، تكون درجة حرارة المتكاثف والبخار الومضى فى الجانب أسفل التدفق للمصيدة والتى تعمل بكفاءة حوالى 100 درجة مئوية ، وهى نفس درجة الحرارة للمتكاثف وللبخار النشط فى الجانب أسفل التدفق للمصيدة العاطلة .

وعندئذ فإن قياس درجة الحرارة لا يعطى أى دلالة عن أداء المصيدة

جدول (3-23) أصوات التشغيل لأنواع المصايد المختلفة

نوع المصيدة	حالة التشغيل السليم	حالـة العطل
النوع ذو القرص (النبضى أو الديناميكى الحرارى) Disc-type(Impulse thermodynamic)	فتح وقفل مفاجىء للقرص	عادة عطل فى وضع الفتح ، الدورة تتعدى 60 لكل دقيقة
النوع الميكانيكى (الدلو) Mechanical - type (bucket)	صوت عند دورة الدلو فى الفتح والقفل	عطل فى وضع الفتح -- صوت اندفاع البخار -- صوت تخبيط الدلو على جانب جسم المصيدة عطل فى وضع الإغلاق -- لا يوجد صوت
النوع الثرموستاتيكى Thermostatic - type	صوت عند التفريغ الدورى للأحمال المرتفعة والمتوسطة عند الأحمال المنخفضة احتمال عدم حدوث صوت ، وإختناق فى التفريغ	عطل فى وضع الإغلاق -- لا يوجد صوت عطل فى وضع الفتح -- صوت شديد ومتصل بسبب خروج البخار

3- إستخدام أجهزة اختبار

عن طريق إستخدام أجهزة اختبار المصايد يمكن اختبار وتحديد المصايد العاطلة والسليمة.

قائمة مراجعة فحص مصايد البخار

*** جميع مصايد البخار**

- هل يوجد بخار ؟
- هل المصيدة ساخنة ، وما هى درجة حرارة التشغيل ؟
- عند إجراء اختبار الرطوبة للمصيدة الساخنة ، تنبثق قطرات مياه قليلة من المصيدة ، تبدأ المياه فى التبخر فورا . إن لم يحدث هذا فإن هذا يشير إلى أن المصيدة باردة .
- ضع علامة على المصايد لمراجعة الصيانة ، للتأكد أن هذا يرجع إلى المصيدة أو إلى مشاكل فى النظام .
- مصفاة أسفل التدفق .

*** مراجعة صوت المصيدة الساخنة (Sound Check Hot Trap)**

- استمع إلى صوت تشغيل المصيدة .
- تأكد من استمرارية السريان .
  - * خطوة منخفضة لسريان المتكاثف (low pitch)
  - * خطوة عالية لسريان البخار (high pitch)
- تأكد من أن السريان متقطع .
- هل عمل المصيدة دوريا .
- سجل الأصوات الميكانيكية .

*** الفحص المرئى للمصايد ذات الصوت السيىء**

- اغلق صمام الراجع (valve return)
- افتح صمام التصريف (discharge valve)
- لاحظ التصريف للحالات الآتية :
  - * المتكاثف العادى والبخار الومضى .

* البخـــار النشـــط .
* التشغيل المتقطع أو المستمر .
* مراجعة درجة الحرارة عند الضرورة
- لقياس درجة الحرارة نظف أسفل وأعلى التدفق للمصايد .
- سجل ضغط مصدر التغذية .
- قياس درجة حرارة مصدر التغذية .
- سجل ضغط خط تصريف المصيدة .
- قياس درجة حرارة خط تصريف المصيدة .
- علم المصايد العاطلة لاستبدالها أو تصليحها .
* افحص الحالات الخارجية (check external conditions)
- ركائز وجوانب (supports & braces)
- المـــادة العـــازلة
- التـــآكل
- التسريب

يوضح جدول (24-3) ارشادات اختيار مصايد البخار
ويوضح جدول (25-3) ارشادات محددة لمصايد البخار
وفى جدول (26-3) مقارنة بين خصائص تشغيل مصايد البخار
بينما يوضح جدول(27-3) تتبع أعطال مصايد البخار

جدول (3-24) ارشادات اختيار مصايد البخار

التطبيق	اعتبارات خاصة	الاختيار الأساسى للمصيدة	الاختيار البديل للمصيدة
الخطوط الرئيسية والفرعية للبخار Steam mains and Branch lines	– ترشيد استخدام الطاقة – الاستجابة لتكون المعادن فى المتكاثف – المقدرة على علاج القاذورات – الاستجابة لتغير الأحمال – مقدرة تنفيس الغازات – شكل العطل (فتح) failure mode	– الدلو المقلوب – الثرموستاتيكية فى الأماكن المعرضة لحدوث تجميد	– العوامة والثرموستاتيكية
معدات فصل المياه عن البخار steam separators	– نفس الاعتبارات السابقة	– الدلو المقلوب (يحتوى على منفس كبير)	– العوامة والثرموستاتيكية – الثرموستاتيكية (أعلى من $125\ P_{sig}$)

جدول (25-3) ارشادات محددة لمصايد البخار

الارشادات	نوع المصيدة
- لا تعمل المصيدة عندما لا يمكن الحفاظ على وجود حلقة منع تسرب المياه - يجب حماية المصيدة من التجمد - لا تكون معالجة الهواء بحجم ما يحدث بالمصايد الأخرى	الدلو
- يجب حماية المصيدة من التجمد - تتأثر بعض عمليات التشغيل بالطرق المائى	العوامة
- لا تناسب الضغوط الأقل من $10\ P_{si}$ - لا يوصى باستخدامها للضغوط الخلفية الأكبر من 50% من ضغط المدخل - يستخدم مانع التجمد إذا أوصى الصانع	القرص
- تتأثر بعض عمليات التشغيل بالطرق المائى - يحد من استخدامها إذا استمر المتكاثف خلفيا وباردا تحت ضغط قبل عملية التفريغ	الثرموستاتيكية
- لا تستخدم فى نظم البخار المحمص - يجب حماية المصيدة من التجمد - تتأثر بعض عمليات التشغيل بالطرق المائى	العوامة والثرموستاتيكية

جدول (3-26) خصائص تشغيل مصايد البخار

نوع المصيدة / الخصائص	المنفاخية الثرموستاتيكية Bellows thermostatic	ثنائية المعدن الثرموستاتيكية Bimetallic thermostatic	القرص Disc	العوامة والثرموستاتيكية F & T	الدلو المقلوب Inverted Bucket
– طريقة التشغيل	مستمر (1)	ضبط ذاتى (self - modulating)	متقطع	مستمر	متقطع
– التشغيل ضد الضغط الخلفى	ممتاز	ضعيف	ضعيف	ممتاز	ممتاز
– المقدرة على تنفيس الهواء	ممتاز	ممتاز	جيد (3)	ممتاز	متوسط
– الإستجابة لتغير الحمل	جيد	متوسط	ضعيف/ جيد	ممتاز	جيد
– مقاومة التجمد	ممتاز	ممتاز	جيد	ضعيف	ضعيف(5)
– مقاومة الطرق المائى	ضعيف	ممتاز	ممتاز	ضعيف	ممتاز
– معالجة أحمال بداية التشغيل	ممتاز	متوسط	ضعيف	ممتاز	متوسط
– مناسبة البخارالمحمص	نعم	نعم	نعم	لا	لا
– متكاثف مبرد تحت ضغط (supercooling)	5 - 30 °F	50 - 100 °F	درجة حرارة البخار	درجة حرارة البخار	درجة حرارة البخار
الأعطال الشائعة	وضع الإغلاق (2)	وضع الفتح	وضع الفتح (4)	وضع الإغلاق	وضع الفتح

(1) يمكن أن تكون متقطعة عند الأحمال المنخفضة

(2) يمكن حدوث عطل فى وضع الفتح

(3) لا ينصح به عند الضغوط المنخفضة جدا

(4) يمكن حدوث عطل فى وضع الإغلاق نتيجة القاذورات

(5) يمكن عزلها للحصول على مقاومة ممتازة

جدول (3-27) تتبع أعطال مصايد البخار

نوع المصيدة	التشغيل العادى	مؤشرات المشاكل	السبب المحتمل
جميع أنواع المصايد	- تحت ظروف التشغيل تكون المصايد ساخنة - المخرج عبارة عن خليط من المتكاثف والبخار الومضى - تعتمد دورة التشغيل (فتح/إغلاق) على المصيدة - درجة حرارة المدخل تكون عالية نسبيا	الفحص المرئى - تفريغ البخار النشط ، يحتوى على سائل قليل - المتكاثف البارد يحتوى على بخار ومضى قليل - لا يحدث تفريغ - تسرب البخار عند المصيدة	- عطل فى وضع الفتح - الاحتفاظ بالمتكاثف الخلفى - عطل فى وضع الاغلاق ، المصفاة مسدودة ، الخط مسدود - عطل مانع التسرب
		قياس درجة الحرارة - ارتفاع درجة حرارة أسفل التدفق - انخفاض درجة حرارة أعلى التدفق	- عطل فى وضع الفتح - عطل فى وضع الاغلاق ، المصفاة مسدودة ، الخط مسدود
العوامة العوامة و الترموستاتيكية	- استمرار التفريغ عند الاحمال العاديه ، يمكن ان تكون متقطعة عند الأحمال المنخفضة - صوت منخفض ثابت عند استمرارية السريان	اختبار الصوت - صوت مرتفع منغم مشوه - لا يوجد صوت	يندفع البخار خلال - عطل فى وضع الفتح - عطل فى وضع الاغلاق
الترموستاتيكية	- استمرار أو تقطع التفريغ اعتمادا على الحمل ، الضغط ، النوع - صوت منغم ثابت منخفض عند السريان المستمر أو المعتدل	نفس حالة العوامة والعوامة الترموستاتيكية	
الدلو المقلوب	- صوت دورة تشغيل فتح/إغلاق الدلو - فقاعات مستقرة فى الأحمال المنخفضة	- اندفاع البخار - لا يوجد صوت - استقرار التفريغ : لا ينتج صوت من الدلو - استقرار التفريغ : لا يتراقص - استقرار التفريغ : الدلو يتراقص بعد البداية - استقرار التفريغ : لا ينتج صوت من الدلو	- عطل فى وضع الفتح - عطل فى وضع الاغلاق - معالجة الهواء ، افحص - البداية مفقودة - أعطال فى الأجزاء الداخلية - المصيدة أقل حجما من المطلوب
القرص	- تفريغ متقطع - فتح وإغلاق القرص كل 10 ثوانى	- تكون الدورة أسرع كل 5 ثوانى - احتكاك القرص أكثر من60 مرة فى الدقيقة أو لا ينتج صوت	- المصيدة أقل حجما أو عاطلة - عطل فى وضع الفتح

3-6 البخار الومضى (Flash steam)

هو عبارة عن السحابة البيضاء المميزة التى تتواجد عادة فى مخارج تصريف المتكاثف الساخن .

تحدث هذه الحالة نتيجة درجة الحرارة العالية نسبيا للمتكاثف . عندما ينخفض ضغط المتكاثف ، فى مواسير البخار أو فى خزان التجميع ، فتصبح درجة حرارة المتكاثف هى درجة حرارة التشبع المقابلة لقيمة الضغط فى شبكة البخار أو فى الخزان . ينتج الفرق بين درجتى حرارة المتكاثف عند المدخل وعند التشبع إلى طاقة حرارية مرتفعه تعمل على اعادة تبخر جزء من المتكاثف المنصرف مكونا بخارا ومضيا والذى بدوره يتكثف فى الهواء الجوى فى هيئة السحابة المميزة التى تتواجد عادة فى مخارج تصريف المتكاثف الساخن .

ويمكن الاستفادة من البخار الومضى عن طريق تجميعه واعادة استخدامه .

ويمتاز البخار الومضى بنفس فوائد البخار المنتج من الغلاية . ويستفاد من اعادة استخدامه فى الأتى :

1- خفض الطلب على البخار

2- التخلص من الفقد فى المياه المعالجة

3- التخلص من سحابة البخار البيضاء والتى تعتبر فقدا فى البخار

عموما فإن طاقة البخار تنقسم إلى جزئين هما الطاقة الكامنة (latent heat) والطاقة الحساسة (sensible heat) ويوضح شكل (3-19) أ الطاقة الحرارية فى باوند واحد من البخار المشبع عند الضغوط المختلفة . ظاهريا تستنفذ كمية الحرارة للوصول بالمياه إلى درجة الغليان . يمكن أن تفقد الطاقة الحساسة فيما يعرف بظاهرة "الوميض" وذلك عندما يتشكل المتكاثف الساخن نتيجة الإختلاف بين الضغط العالى والمنخفض خلال نظام مصايد البخار .

ويوضح شكل(3-19)ب ما يحدث للمتكاثف عند تغير الضغط من قيمة مرتفعة إلى قيمة منخفضة

بفرض أن المصيدة لمبادل حرارى (heat exchanger) :

- يتشكل المتكاثف عند معدل 100 lb / hr

- ضغط النظام $100\ P_{si}$ ودرجة الحرارة المقابله $353\ F^0$

(كل 100 lb متكاثف يحتوى على 32500 Btu)

تكون بيانات جانب الضغط المنخفض للمصيدة فى هذه الحاله كالأتى :

- الضغط الجوى ودرجة حرارة التشبع $212\ F^0$

من جدول (28-3) نحصل على :

عند ضغط بداية 125 Psig ودرجة حرارة $353\ F^0$ وإنخفاض الضغط إلى الضغط الجوى نحصل على :

نسبة الوميض = 14.5 %

BTU لكل باوند من بخار الوميض = 1150

ومن شكل (19-3) نحصل على 180 BTU لكل باوند سائل

يحدث إتزان لطاقة المتكاثف (BTU) على جانبى مصيدة البخار كالأتى :

- مدخل المصيدة

الطاقة الكلية للمتكاثف 32500 BTU

- مخرج المصيدة

تنقسم إلى جزئين :

أ- البخار الومضى

طاقة البخار الومضى = نسبة الوميض × الطاقة (BTU) لكل باوند بخار ومضى

$= 1150 \times 14.5 = 16675\ BTU$

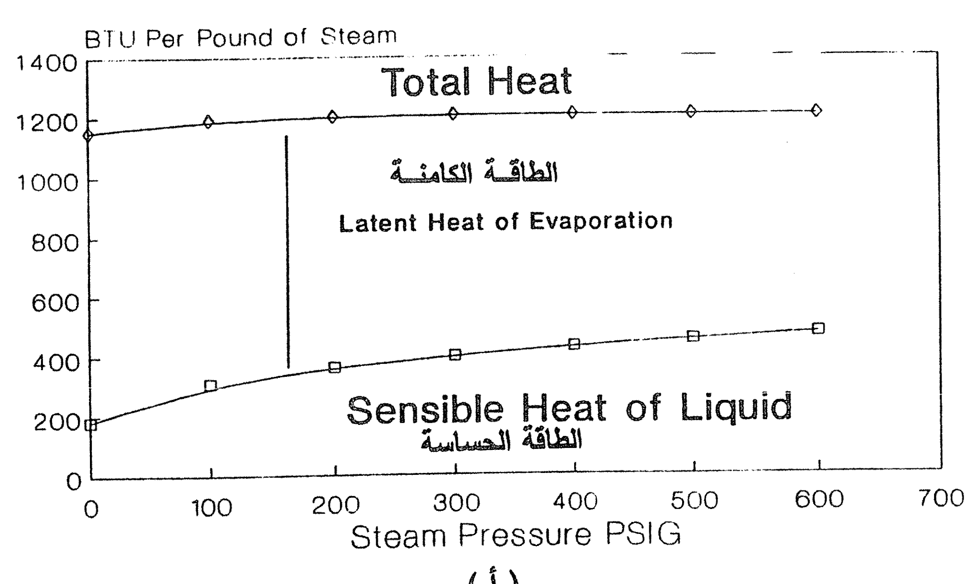
ب- المتكاثف

طاقة المتكاثف = (100 - نسبة الوميض) × الطاقة (BTU) لكل باوند سائل

$= (100 - 14.5) * 180 = 15390\ BTU$

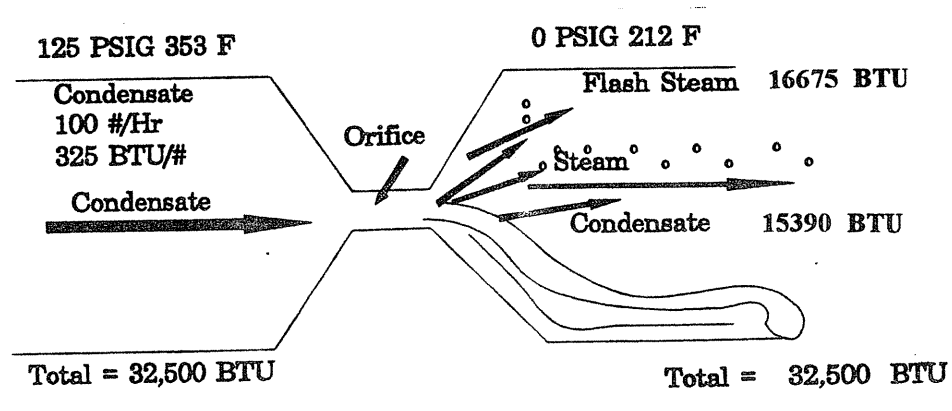
الطاقة الكلية لمخرج المصيدة = 15390 + 16675

$= 32065\ BTU$



(أ)

شكل (19-3) الطاقة الحرارية لباوند واحد من البخار المشبع عند الضغوط المختلفة



(ب)

شكل (19-3) اتزان طاقة البخار الومضى

جدول (28-3) نسبة البخار الومضى الناتجة من المتكاثف أو الغلاية عند انخفاض الضغط

ضغط البداية PSIG	درجة حرارة السائل (F^0)	نسبة الوميض عند الضغط الجوى	نسبة البخار الومضى عند انخفاض الضغط				
			5 PSI	10 PSI	15 PSI	20 PSI	25 PSI
100	338	13	11.5	10.3	9.3	8.4	7.6
125	353	14.5	13.3	11.8	10.9	10	9.2
150	366	16	14.6	13.2	12.3	11.4	10.6
175	377	17	15.8	14.4	13.4	12.5	11.6
200	388	18	16.9	15.5	14.6	13.7	12.9
225	397	19	17.8	16.5	15.5	14.7	13.9
250	406	20	18.8	17.4	16.5	15.6	14.9
300	421	21.5	20.3	19	18	17.2	16.5
350	435	23	21.8	20.5	19.5	18.7	18
400	448	24	23	21.8	21	20	19.3
450	459	25	24.3	23	22	21.3	20
500	470	26.5	25.4	24.1	23.2	22.4	21.7
550	480	27.5	26.5	25.2	24.3	23.5	22.8
600	488	28	27.3	26	25	24.3	23.6
BTU PER POUND OF FLASH STEAM		1150	1155	1160	1164	1167	1169
DEG F OF [illegible]ASH STEAM & LIQUID		212	225	240	250	259	267
STEAM VOLUME CUFT/LB		26.8	21	16.3	13.7	11.9	10.5

3-7 المفقودات فى نظم البخار Losses in steam systems

عادة تنتج المفقودات فى نظم البخار من :

1- التسرب أو الإنهيارات فى خطوط البخار

2- الفقد الحرارى من خطوط البخار نتيجة العزل غير الجيد وغير الملائم

وسيتم إستعراض ذلك فيما يلى

1- المفقودات من خلال التسرب أو الأنهيارات فى خطوط إسترجاع المتكاثف

ويوجد نوعين من التسرب أحدهما من خلال الفتحات الخارجية والأخرى من خلال مصايد البخار

(1-1) التسرب من خلال الفتحات الخارجية

أحيانا يحدث ثقوب بمواسير البخار. يتم حساب الفقد الناتج من تسرب البخار خلال الثقوب بمعرفة معدل تسرب البخار (steam leak rate) خلال الثقوب من جدول رقم (29-3) حيث يلزم معرفة قطر الثقب وضغط البخار للحصول على معدل تسرب البخار وهو يدل على المفقود من خلال الثقب . يعتمد المعدل الحقيقى على شكل الثقب وحدة جوانب الثقب أو الفتحة .

(2-1) التسرب والعزل غير الجيد لمصايد البخار

يمكن تمثيل المصيدة المفتوحة نتيجة عطل بثقب . وبإستخدام جدول رقم (29-3) يتم الحصول على فقد البخار من هذه المصيدة . كذلك يمكن حدوث فقد نتيجة العزل الخارجى السيىء للمصيدة أو عدم وجود عزل خارجى . وفيما يلى أمثلة توضح ذلك :

مثال

نظام بخار به عدد 3 مصايد تسرب البخار من خلال فتحه قطرها $\frac{3''}{8}$ ، وضغط البخار 100 Psi ، وتقدر تكلفة البخار $10 لكل 1000 lbs ويعمل النظام 8000 ساعة فى السنة . إحسب الفقد الكلى فى السنة ؟

الحل :

من جدول (29-3) فإن :

جدول (3-29) معدل تسرب البخار خلال الثقب (وحدات lbm/hr)

قطر الثقب(بوصة) Orifice Diameter (inches)	Steam Pressure (P_{sig}) ط البخار												
	2	5	10	15	25	50	75	100	125	150	200	250	300
1/32	0.31	0.49	0.7	0.85	1.14	1.86	2.58	3.3	4.02	4.74	6.17	7.61	4.05
1/16	1.25	1.97	2.8	3.4	4.6	7.4	10.3	13.2	16.1	18.9	24.7	30.4	36.2
3/32	2.81	4.44	6.3	7.7	10.3	16.7	15.4	29.7	36.2	42.6	55.6	68.5	81.5
1/8	4.5	7.9	11.2	13.7	18.3	29.8	41.3	52.8	64.3	75.8	99	122	145
5/32	7.8	12.3	17.4	21.3	28.5	46.5	64.5	82.5	100	118	154	190	226
3/16	11.2	17.7	25.1	30.7	41.1	67	93	119	145	170	222	274	326
7/32	15.3	24.20	34.2	41.9	55.9	91.2	126	162	197	232	303	373	443
1/4	20	31.60	44.6	54.7	73.1	119	165	211	257	303	395	487	579
9/32	25.2	39.90	56.5	69.2	92.5	151	209	267	325	384	500	617	733
5/16	31.2	49.3	69.7	85.4	114	186	258	330	402	474	617	761	905
11/32	37.7	59.6	84.4	103	138	225	312	399	486	573	747	921	1095
3/8	44.9	71	100	123	164	268	371	475	578	682	889	1096	1303
13/32	52.7	83.3	118	144	193	314	436	557	679	800	1043	1286	1529
7/16	61.1	96.60	137	167	224	365	506	647	787	928	1210	1492	1774
15/32	70.2	111	157	192	257	419	580	742	904	1065	1389	1713	2037
1/2	79.8	126	179	219	292	476	660	844	1028	1212	1580	1949	2317

معدل فقد البخار عند ضغط 100 Psi ، وقطر الثقب $\frac{3''}{8}$ يساوى 475 lbs/hr وتكون التكلفة الكلية فى السنة للمصيدة الواحدة

$$(475\ \text{Ibs/hr}) \times (\$10/1000\ \text{Ibs})\ (8000\ \text{hr/yr}) = \$\ 38000/\text{yr}$$

والتكلفة الكلية فى السنه لعدد 3 مصايد

$$3(\$38000/\text{yr}) = \$114000\ /\text{yr}$$

مثال

ماسورة بخار تحتوى على ثقب قطره $\frac{1''}{4}$ ، ضغط البخار $150\ P_{sig}$ ، وتكلفة البخار $10 لكل1000 Ibs ، إحسب الفقد فى البخار خلال سنة .
وإذا أنخفض الضغط إلى $50\ P_{sig}$ ، إحسب قيمة الوفر .

الحل :

من جدول (3-29) نحصل على معدل الفقد لقطر الثقب $\frac{1''}{4}$ ، عند ضغط $150\ P_{sig}$
= 303 Ibs/hr

ويكون فقد البخار خلال عام يساوى

$$(303\ \text{Ibs}/\text{hr})(8760\ \text{hr}/\text{yr}) = 2654 \times 10^3\ \text{Ibs}$$

وتكون تكلفة فقد البخار خلال عام تساوى

$$(2654 \times 10^3\ \text{Ibs})(\$10/1000\ \text{Ibs}) = \$\ 26540$$

عند إنخفاض الضغط إلى $50\ P_{sig}$ ، فمن جدول (3-29) نحصل على معدل الفقد

لقطر الثقب $\frac{1''}{4}$

= 119 Ibs/hr

وتكون تكلفة فقد البخار خلال عام تساوى

(119 Ibs/hr) (8760 yr/hr) ($10/1000 Ibs) = $ 10423

وعلى ذلك يكون الوفر نتيجة إنخفاض الضغط

$ 26540 - $ 10423 = $ 16117

من هذا المثال نستنتج أنه يمكن حدوث وفر عند تقليل ضغط البخار

2- الفقد الحرارى (Heat Loss)

يتم تقليل الفقد الحرارى عن طريق عزل مواسير البخار أو بتخفيض درجة حرارة وضغط البخار . ويتم حساب الفقد الحرارى للمواسير المسطحة أو الأسطوانية بدلالة درجة حرارة السطح الخارجى للمواسير ودرجة حرارة الجدار المحيط .

نستعرض فيما يلى كيفية حساب الفقد الحرارى للأسطح المستوية والأسطوانية المعزولة وغير المعزولة بعزل حرارى :

أولا: الفقد الحرارى من المواسير غير المعزولة

يتم معرفة الفقد الحرارى من المواسير غير المعزولة من الجداول أو المنحنيات الخاصة بذلك . فمثلا يوضح جدول (3-30) قيم الفقد الحرارى (w/m) لكل وحدة طول من مواسير غير معزولة عند درجة حرارة الجو المحيط $20C^0$ وفى حالة سكون الرياح . بينما يوضح شكل (3-20) العلاقة بين الفقد الحرارى ($BTU/hr.ft^2$) وفرق درجة حرارة البخار ودرجة الحرارة المحيطة للمواسير غير المعزولة .

جدول (3-30) الفقد الحرارى من المواسير (غير المعزولة)

الفرق فى درجات الحرارة بين البخار والهواء م°	مقـاس المـاسورة mm									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
	الفقد الحرارى بالوات لكل متر طولى W/m									
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	321	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	373	458	540	622	815	1133
153	210	255	312	382	429	528	623	747	939	1305
167	241	292	357	437	489	602	713	838	1093	1492
180	274	329	408	494	556	676	808	959	1190	1660
194	309	372	461	566	634	758	909	1080	1303	1852

ثانيا : الفقد الحرارى من المواسير المعزولة

سنتعرض لحساب الفقد الحرارى فى الحالتين الآتيتين :

(أ) العزل الحرارى للأسطح المستوية

(ب) العزل الحرارى للأسطح الأسطوانية

(أ) العزل الحرارى للأسطح المستوية

حساب كمية الحرارة المفقودة خلال مادة العزل لوحدة المساحة من سطح مستوى فى الثانية Q بوحدات w/m^2

تعتمد كمية الحرارة المفقودة خلال مادة العزل لوحدة المساحات للأسطح المستوية فى الثانية (Q) على درجات الحرارة والمقاومات الحرارية كما فى المعادلات الأتية :

* فى حالة إستخدام طبقة عزل واحدة فإن :

$$Q = \frac{t_s - t_a}{R_1 + R_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots [3-2]$$

* فى حالة إستخدام عدة طبقات عازلة كما فى شكل (3-21) فإن :

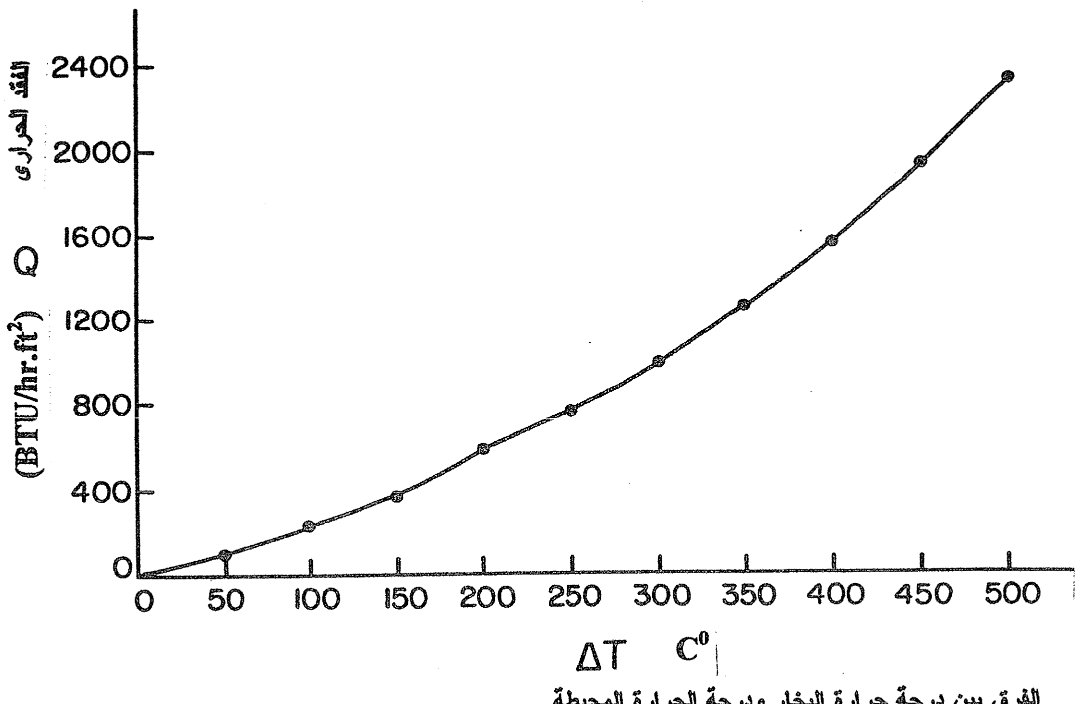
$$Q = \frac{t_s - t_a}{R_1 + R_2 \cdots\cdots\cdots + R_n + R_s} = \frac{t_s - t_a}{\sum R}$$

$$R_s = \frac{1}{U_s}$$

$$R_1 = \frac{X_1}{K_1}$$

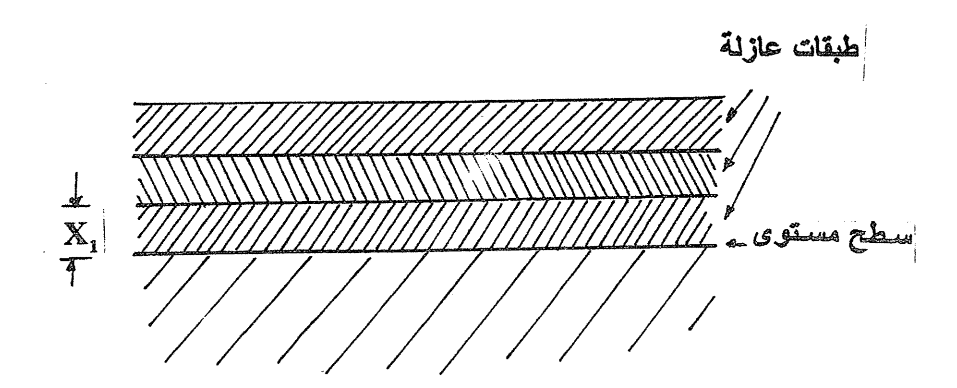
$$R_n = \frac{X_n}{K_n}$$





الفرق بين درجة حرارة البخار ودرجة الحرارة المحيطة

شكل (3-20) العلاقة بين الفقد الحرارى وفرق درجات الحرارة للمواسير غير المعزولة



شكل (3-21) عزل الاسطح المستوية

(ب) العزل الحرارى للأسطح الأسطوانية

١- حساب كمية الحرارة المفقودة من ماسورة لكل متر طولى Qp بوحدات w/m

* فى حالة إستخدام طبقة عزل واحدة فإن :

$$Q_p = \frac{\pi(t_s - t_a)}{\left(\frac{1}{2k_1}\ln\frac{d_1}{d_\circ}\right) + \left(\frac{1}{U_s\, d_1}\right)} = \frac{\pi(t_s - t_a)d_\circ}{\sum R} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots[3\text{-}3]$$

* فى حالة إستخدام عدة طبقات عازلة كما فى شكل (3-22) فإن :

$$Q_p = \frac{\pi(t_s - t_a)}{\left(\frac{1}{2k_1}\ln\frac{d_1}{d_\circ}\right) + \left(\frac{1}{2k_2}\ln\frac{d_2}{d_1}\right) + \cdots\cdots + \left(\frac{1}{2k_n}\ln\frac{d_n}{d_{n-1}}\right) + \left(\frac{1}{U_s\, d_n}\right)}$$

$$R_s = \frac{d_\circ}{U_s\, d_n}$$

$$R_1 = \frac{d_\circ}{2k_1}\ln\frac{d_1}{d_\circ}$$

- - - - - - - - - -

$$R_n = \frac{d_\circ}{2k_n}\ln\frac{d_n}{d_{n-1}}$$

شكل (3-22)

حيث :

Q = كمية الحرارة المفقودة خلال مادة العزل لوحدة المساحة من سطح مستوى فى الثانية بوحدات w/m^2

Q_p = كمية الحرارة المفقودة من سطح اسطوانى (ماسورة) لكل متر طولى بوحدات w/m

t_s = درجة حرارة سطح الماسورة الساخن ^0C

t_∞ = درجة حرارة الهواء المحيط ^0C

R_s = المقاومة الحرارية (thermal resistance) بين سطح مادة العزل والهواء المحيط بوحدات $m^2/^0C\ w$

R_1 ، R_2 .... R_n = المقاومة الحرارية لطبقة العزل n .... ,1,2 بوحدات $m^2/^0C\ w$

X_1 ، X_2 ....X_n = سمك طبقات العزل n .... ,1,2 بوحدات m

d_o = القطر الخارجى للماسورة قبل العزل بوحدات m

d_1 ، d_2 ....d_n = القطر الخارجى للماسورة بالعزل بطبقة واحدة وطبقتين n .... ,1,2 بوحدات m

k_1 ، k_2 ....k_n = معامل التوصيل الحرارى (thermal conductivity) لطبقة العزل الحرارى رقم n .... ,1,2 بوحدات $w/m^2\ ^0C$

Us = المعامل الحرارى المكافىء للانتقال الحرارى من السطح الخارجى للعزل وحتى الهواء المحيط . هذا المعامل هو مجموع معاملى الانتقال الحرارى عن طريق الاشعاع (radiation) والانتقال الحرارى عن طريق الحمل (convection) بوحدات $w/m^2\ ^0C$

2- حساب كمية الحرارة المفقودة لكل وحدة مساحة $\left(\frac{Q}{A}\right)$ بوحدات $\left(\frac{BTU\ /hr}{ft^2}\right)$

نحصل على الفقد الحرارى لكل وحدة مساحة للمواسير المعزولة تبعا لشكل (3-23) من المعادلة الآتية :

$$\frac{Q}{A} = \Delta T / \left\{ \frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{k_i} + \frac{1}{h_c} \right\}$$

حيث : r_1 = نصف القطر الخارجى للمواسير (بدون عزل)

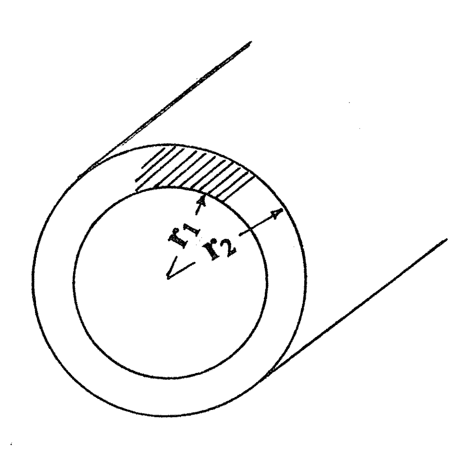
r_2 = نصف القطر الخارجى لسطح العازل

k_i = الموصولية الحرارية (thermal conductivity) للعزل

h_c = معامل التحول الحرارى للتوصيل والأشعاع

(combined convective / radiative heat transfer coefficient)

ΔT = الإختلاف بين درجة حرارة البخار ودرجة الحرارة المحيطة



شكل (3-23)

فى المعادلة السابقة تم إهمال المقاومة الحرارية لجدران المواسير والمقاومة من البخار إلى المواسير

ويوضح شكل (3-24) قيم الموصولية الحرارية (k_i) لمواد عازلة مختلفة

ويوضح شكل (3-25) قيم معامل التحول الحرارى h_c بدلالة ΔT

لتقليل عدد المتغيرات فى هذه المعادلة سيتم إستخدام متغير R من المعادلة :

$$R = r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}$$

وبإستخدام جدول رقم (3-31) يمكن الحصول على القيمة R بمعرفة r_1 ، r_2 (السمك الفعلى لعزل المواسير)

بمعرفة ΔT ، R وعند قيم مختلفة للموصولية الحرارية للعزل

0.2 , 0.3 , 0.4 , 0.5 , 0.6 BTU-in / (hr ft^2 F^0)

يمكن الحصول على الفقد الحرارى لكل وحدة مساحة من الجداول (3-32)

ولتوضيح ذلك نستعرض هذا المثال :

مثال

مواسير بخار بقطر خارجى "8 ، درجة حرارة البخار F^0 300 ، درجة الحرارة المحيطة $100\ F^0$ إحسب :

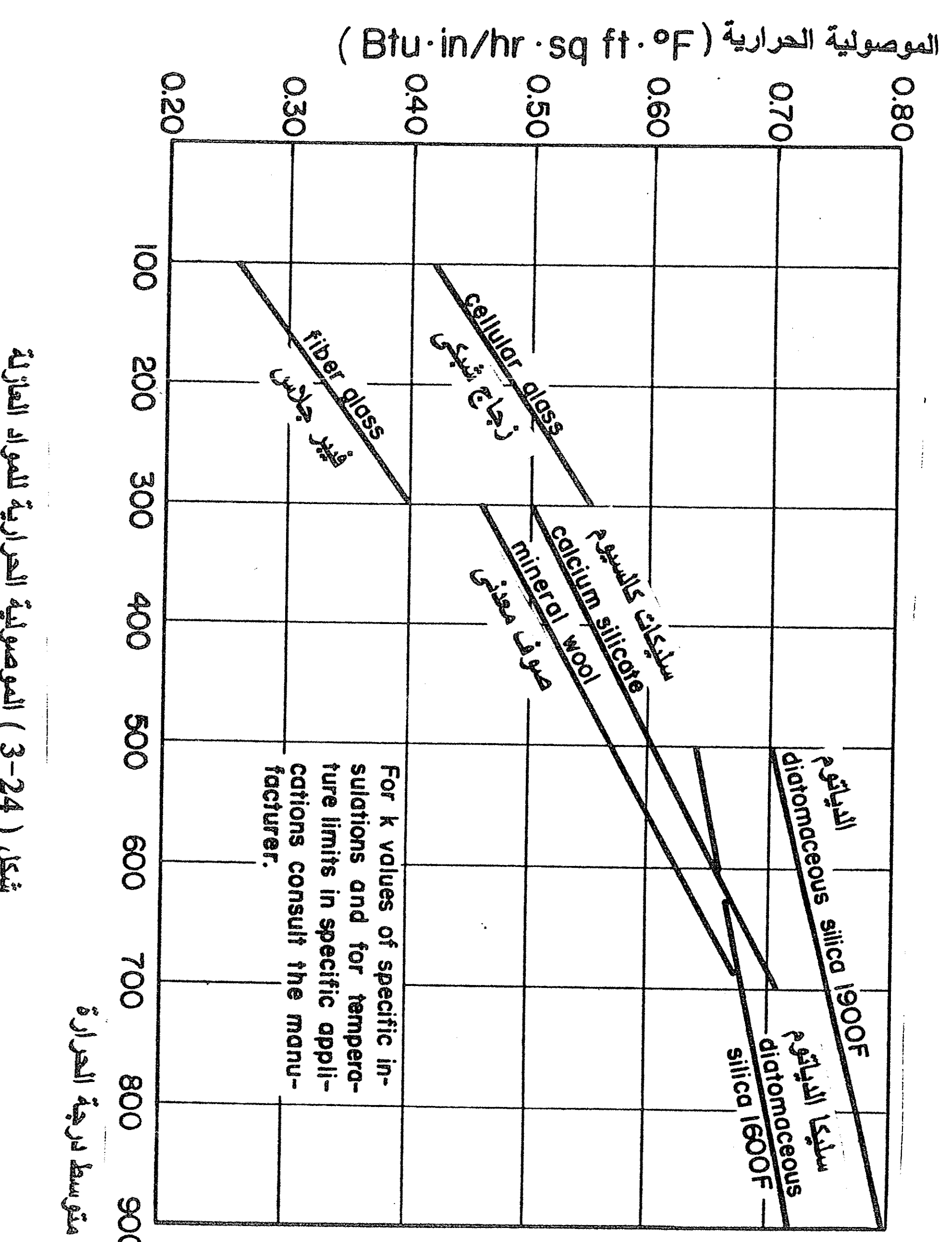
(أ) الفقد الحرارى لكل وحدة قدم من مواسير غير معزولة

(ب) الفقد الحرارى لكل وحدة قدم من مواسير معزولة بسمك "1 والموصولية الحرارية للعزل 0.3 BTU-in/(hr ft^2 F^0)

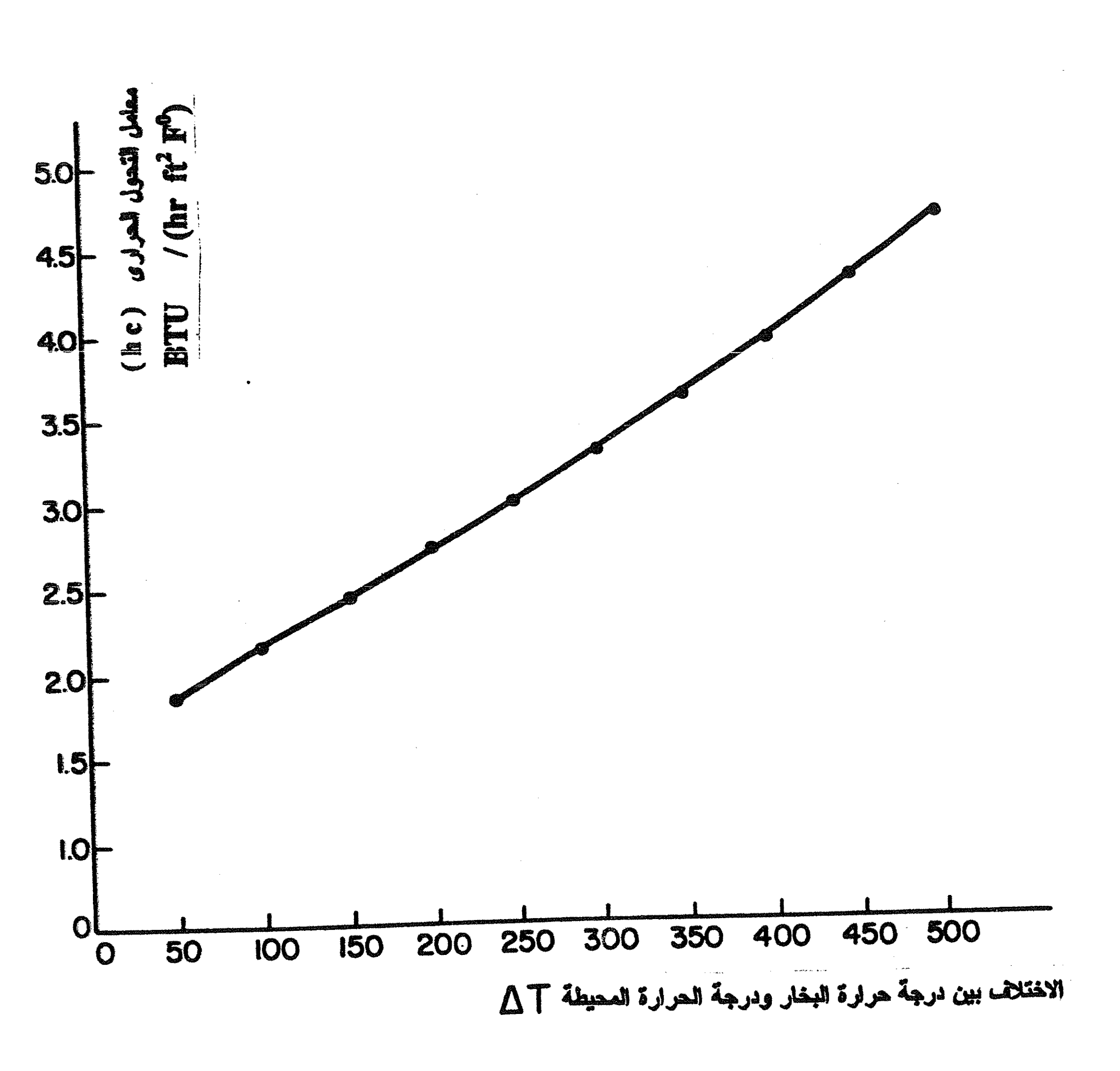
(جـ) إذا كان سعر البخار $10 لكل مليون وحدة BTU إحسب قيمة الفقد السنوى (8000 hr/yr) لكل 100 قدم لمواسير غير معزولة قطرها "4

(د) الوفر الناتج سنويا من عزل المواسير فى بند (جـ) .

(هـ) عند إنخفاض درجة حرارة البخار إلى $100\ F^0$ ، إحسب البندين (جـ) ، (د) .



شكل (3-24) الموصولية الحرارية للمواد العازلة



شكل (3-25) العلاقة بين معامل التحول الحرارى (h c) واختلاف درجة الحرارة

جدول (3-31) السمك الفعلى لعزل المواسير بوحدات البوصة

r_1	r_2	R	r_1	r_2	R	r_1	r_2	R
1	2	1.39	8	9	1.06	15	16	1.03
1	3	3.3	8	10	2.23	15	17	2.13
1	4	5.55	8	11	3.5	15	18	3.28
1	5	8.05	8	12	4.87	15	19	4.49
1	6	10.75	8	13	6.31	15	20	5.75
1	7	13.62	8	14	7.83	15	21	7.07
2	3	1.22	9	10	1.05	16	17	1.03
2	4	2.77	9	11	2.21	16	18	2.12
2	5	4.58	9	12	3.45	16	19	3.27
2	6	6.59	9	13	4.78	16	20	4.46
2	7	8.77	9	14	6.19	16	21	5.71
2	8	11.09	9	15	7.66	16	22	7.01
3	4	1.15	10	11	1.05	17	18	1.03
3	5	2.55	10	12	2.19	17	19	2.11
3	6	4.16	10	13	3.41	17	20	3.25
3	7	5.93	10	14	4.71	17	21	4.44
3	8	7.85	10	15	6.08	17	22	5.67
3	9	9.89	10	16	7.52	17	23	6.95
4	5	1.12	11	12	1.04	18	19	1.03
4	6	2.43	11	13	2.17	18	20	2.11
4	7	3.92	11	14	3.38	18	21	3.24
4	8	5.55	11	15	4.65	18	22	4.41
4	9	7.3	11	16	6.00	18	23	5.64
4	10	9.16	11	17	7.4	18	24	6.9
5	6	1.09	12	13	1.04	19	20	1.03
5	7	2.36	12	14	2.16	19	21	2.1
5	8	3.76	12	15	3.35	19	22	3.23
5	9	5.29	12	16	4.6	19	23	4.39
5	10	6.93	12	17	5.92	19	24	5.61
5	11	8.67	12	18	7.3	19	25	6.86
6	7	1.08	13	14	1.04	20	21	1.02
6	8	2.3	13	15	2.15	20	22	2.1
6	9	3.65	13	16	3.32	20	23	3.21
6	10	5.11	13	17	4.56	20	24	4.38
6	11	6.67	13	18	5.86	20	25	5.58
6	12	8.32	13	19	7.21	20	26	6.82
7	8	1.07	14	15	1.03	21	22	1.02
7	9	2.26	14	16	2.14	21	23	2.09
7	10	3.57	14	17	3.3	21	24	3.2
7	11	4.97	14	18	4.52	21	25	4.36
7	12	6.47	14	19	5.8	21	26	5.55
7	13	8.05	14	20	7.13	21	27	6.79

الحل :

(أ) من الشكل رقم (3-20) عند الإختلاف فى درجة الحرارة $200\ F^0$ نحصل على

$$\frac{Q}{A} = 540\ BTU\ /\ hr - ft^2$$

ثم نحسب مساحة المواسير

$$A = \pi DL$$
$$= \pi(8\ in)(1\ ft)/(12\ in/ft) = 2.09\ ft^2$$
$$\therefore\ Q = 540\left(BTU/hr.ft^2\right)\left(2.09\ ft^2\right) = 1129\ BTU/hr$$

وعلى ذلك فإن الفقد الحرارى لكل وحدة قدم (1 ft) من المواسير غير المعزولة يساوى

$$= 1129\ BTU/hr$$

(ب) عند $r_1 = \frac{8''}{2}$ & $r_2 = 1'' + 4'' = 5''$ ومن جدول (3-31) نحصل على

$$R = 1.12$$

ومن جدول (3-32)ب عند $k = 0.3$ ، $\Delta T = 300 - 100 = 200F^0$ & $R = 1.12$ نجد أن :

$$\frac{Q}{A} = 54.0\ BTU/\left(hr - ft^2\right) \qquad R = 1.0\ \&\ \Delta T = 200F^0$$
$$\frac{Q}{A} = 44.1\ BTU/\left(hr - ft^2\right) \qquad R = 1.25\ \&\ \Delta T = 200F^0$$

$$\therefore \frac{Q}{A} = 54.0 - \left\{\frac{1.12 - 1.0}{1.2 - 1.0}\right\}(54.0 - 44.1)$$
$$= 49.2\ BTU/\left(hr - ft^2\right) \quad at\ \ R = 1.12\ \&\ \Delta T = 200\ F^0$$

$$\therefore Q = \left(\frac{Q}{A}\right)(A)$$
$$= \left\{49.2 \text{ BTU}/\left(\text{hr - ft}^2\right)\right\}\left\{2.09 \text{ ft}^2\right\}$$
$$= 102.9 \text{ BTU/hr}$$

أو يمكن حساب Q بطريقة أخرى كالأتى :

من شكل (3-25) عند $\Delta T = 200\ F^0$ نحصل على $h_c = 2.7$ وبتطبيق المعادلة (3-2) نحصل على :

$$\frac{Q}{A} = \frac{200}{\dfrac{5 \ln \dfrac{5}{4}}{0.3} + \dfrac{1}{2.7}} = 48.7 \text{ BTU}/\left(\text{hr - ft}^2\right)$$

$$Q = \left\{48.7 \text{ BTU}/\left(\text{hr - ft}^2\right)\right\}\left\{2.09 \text{ ft}^2\right\}$$
$$= 101.8 \text{ BTU/hr}$$

(جـ) الفقد الحرارى لطول 100 ft يساوى 100 مرة الفقد الحرارى المحسوب فى البند (أ) وعلى ذلك

$$Q = 100 \times 1129 = 112900 \text{ BTU/hr}$$

ويكون الفقد الحرارى السنوى (8000 hr/yr)

$$Q = (112900 \text{ BTU/hr})\ (8000 \text{ hr/yr}) = 903 \times 10^6 \text{ BTU}$$

لتكلفة 10$ لكل 10^6 BTU فإن قيمة الفقد لمواسير بطول 100 قدم ، ونصف قطر 4 بوصه وعند درجة حرارة $300\ F^0$

$$\left(903 \times 10^6 \text{ BTU}\right)\left(\frac{\$10}{10^6 \text{ BTU}}\right) = \$9030$$

(د) الفقد الحرارى لطول 100 قدم مواسير معزولة

$$\left(101.8 \text{ BTU / hr - ft}\right)\left(100 \text{ ft}\right)\left(8000 \text{ hr}\right)\left(\frac{\$10}{10^6 \text{ BTU}}\right) = \$814$$

وعلى ذلك يكون الوفر السنوى نتيجة عزل المواسير

$$\$ 9030 - \$ 814 = \$ 8216$$

(هـ) إذا إنخفضت درجة حرارة البخار من $300\ F^0$ إلى $200\ F^0$ فإن هذا يؤدى إلى إنخفاض الفقد الحرارى بنسبة 50% تقريبا ، طبقا للمعادلة رقم (3-2) ، فإن خاصية هذه المعادلة خطية وعلى ذلك فإن قيمة الفقد الحرارى للمواسير غير المعزولة تساوى

$$(0.5)\ (\$ 9030) = \$ 4515$$

وبالمثل الوفر فى حالة المواسير المعزولة

$$(0.5)\ (\$ 8216) = \$ 4108$$

مثال

مصيده قطرها "10 وقطرها "12 ، ضغط البخار $150\ P_{si}$ ، يتكلف البخار 5 $ لكل 1000 Ibs أو تقريبا 10 $ لكل مليون وحدة BTU ، إحسب كمية الطاقة المفقودة والتكلفة نتيجة عدم عزل المصيده .

الحل:

من جداول ضغط البخار يمكن الحصول على درجة حرارة البخار

عند الضغط $150\ P_{sig}$ أو ($165\ P_{sia}$) نحصل على درجة حرارة البخار $365\ F^0$

وبفرض أن درجة الحرارة المحيطة $65\ F^0$ فإن إختلاف درجة الحرارة يكون $300\ F^0$

من شكل (3-20) نحصل على الفقد الحرارى المقابل لإختلاف درجة الحرارة $300\ F^0$

$$\frac{Q}{A} = 990 \text{ BTU}/\left(\text{hr-ft}^2\right)$$

نحسب مساحة المصيدة من القطر والطول

$$\therefore A = \pi(10'')(12'') + 2\pi(10'')^2/4$$
$$= 534 \text{ in}^2 = 3.7 \text{ ft}^2$$

ويكون الفقد الحرارى الكلى فى السنة

$$Q = \left(990 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} - \text{ft}^2}\right)\left(3.7 \text{ ft}^2\right)\left(8760 \frac{\text{hr}}{\text{yr}}\right) = 32.1 \times 10^6 \text{ BTU/yr}$$

وحيث أن تكلفة البخار $10 لكل مليون وحدة BTU فإن تكلفة الفقد تكون

$$\left(32.1 \times 10^6 \frac{\text{BTU}}{\text{yr}}\right)\left(\frac{\$10}{10^6 \text{ BTU}}\right) = \$320/\text{yr}$$

ملحوظه :

فى الجداول والرسوم البيانية الخاصة بحسابات الفقد الحرارى من مواسير نظم البخار يكون الفقد محسوبا عندما يكون الهواء ساكنا أو فى عدم وجود الرياح . ويمكن فى الحالات التى تتعرض للرياح إستخدام جدول (33-3) والذى يعطى العلاقة بين سرعة الرياح والفقد الحرارى النسبى . بهذا الفقد النسبى يمكن تصحيح الفقد الحرارى بعد إدخال تأثير سرعة الرياح .

جدول (3-32)أ الفقد الحرارى عند K = 0.2

R	HEAT TRANSFER IN BTU/HR-SQ FT FOR INSULATION WITH THERMAL CONDUCTIVITY OF 0.2 BTU-IN/HR-SQ FT-DEG F									
	STEAM TEMPERATURE LESS AMBIENT TEMPERATRUE DEG F									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1.00	9	18.3	27.7	37.3	46.9	56.6	66.3	76.1	86	95.9
1.25	7.4	14.9	22.5	30.2	38	45.8	53.6	61.5	69.4	77.4
1.50	6.2	12.6	19	25.4	31.9	38.4	45	51.6	58.2	64.8
1.75	5.4	10.9	16.4	21.9	27.5	33.1	38.8	44.4	50.1	55.8
2.00	4.7	9.6	14.4	19.3	24.2	29.1	34.1	39	44	49
2.25	4.2	8.5	12.9	17.2	21.6	26	30.4	34.8	39.2	43.6
2.50	3.8	7.7	11.6	15.5	19.5	23.4	27.4	31.4	35.3	39.3
2.75	3.5	7	10.6	14.2	17.8	21.3	25	28.6	32.2	35.8
3.00	3.2	6.5	9.7	13	16.3	19.6	22.9	26.2	29.5	32.9
3.25	3	6	9	12	15.1	18.1	21.2	24.2	27.3	30.4
3.50	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.9	19.7	22.5	25.4	28.2
3.75	2.6	5.2	7.8	10.5	13.1	15.7	18.4	21	23.7	26.4
4.00	2.4	4.9	7.3	9.8	12.3	14.8	17.3	19.7	22.2	24.7
4.25	2.3	4.6	6.9	9.3	11.6	13.9	16.3	18.6	20.9	23.3
4.50	2.2	4.4	6.5	8.7	10.9	13.2	15.4	17.6	19.8	22
4.75	2.1	4.1	6.2	8.3	10.4	12.5	14.6	16.7	18.8	20.9
5.00	2	3.9	5.9	7.9	9.9	11.9	13.8	15.8	17.8	19.8
5.25	1.9	3.7	5.6	7.5	9.4	11.3	13.2	15.1	17	18.9
5.50	1.8	3.6	5.4	7.2	9	10.8	12.6	14.4	16.2	18
5.75	1.7	3.4	5.1	6.9	8.6	10.3	12.1	13.8	15.5	17.3
6.00	1.6	3.3	4.9	6.6	8.2	9.9	11.6	13.2	14.9	16.5
6.25	1.6	3.2	4.7	6.3	7.9	9.5	11.1	12.7	14.3	15.9
6.50	1.5	3	4.6	6.1	7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.3
6.75	1.5	2.9	4.4	5.9	7.3	8.8	10.3	11.8	13.2	14.7
7.00	1.4	2.8	4.2	5.7	7.1	8.5	9.9	11.3	12.8	14.2
7.25	1.4	2.7	4.1	5.5	6.8	8.2	9.6	11	12.3	13.7
7.50	1.3	2.6	4	5.3	6.6	7.9	9.3	10.6	11.9	13.3
7.75	1.3	2.6	3.8	5.1	6.4	7.7	9	10.3	11.5	12.8
8.00	1.2	2.5	3.7	5	6.2	7.4	8.7	9.9	11.2	12.4
8.25	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	12.1
8.50	1.2	2.3	3.5	4.7	5.8	7	8.2	9.4	10.5	11.7
8.75	1.1	2.3	3.4	4.5	5.7	6.8	7.9	9.1	10.2	11.4
9.00	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.9	11.1
9.25	1.1	2.1	3.2	4.3	5.4	6.4	7.5	8.6	9.7	10.8
9.50	1	2.1	3.1	4.2	5.2	6.3	7.3	8.4	9.4	10.5
9.75	1	2	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1	8.2	9.2	10.2
10.00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10.25	1	1.9	2.9	3.9	4.8	5.8	6.8	7.8	8.7	9.7
10.50	0.9	1.9	2.8	3.8	4.7	5.7	6.6	7.6	8.5	9.5
10.75	0.9	1.8	2.8	3.7	4.6	5.6	6.5	7.4	8.3	9.3
11.00	0.9	1.8	2.7	3.6	4.5	5.4	6.3	7.2	8.1	9.1
11.25	0.9	1.8	2.6	3.5	4.4	5.3	6.2	7.1	8	8.9
11.50	0.9	1.7	2.6	3.5	4.3	5.2	6.1	6.9	7.8	8.7
11.75	0.8	1.7	2.5	3.4	4.2	5.1	5.9	6.8	7.6	8.5
12.00	0.8	1.7	2.5	3.3	4.1	5	5.8	6.6	7.5	8.3

جدول (32-3)ب الفقد الحرارى عند K = 0.3

R	HEAT TRANSFER IN BTU/HR-SQ FT FOR INSULATION WITH THERMAL CONDUCTIVITY OF 0.3 BTU-IN/HR-SQ FT-DEG F — STEAM TEMPERATURE LESS AMBIENT TEMPERATRUE DEG F									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1.00	12.9	26.4	40.1	54	68.2	82.5	96.9	111.5	126.2	141
1.25	10.6	21.6	32.8	44.1	55.6	67.1	78.8	90.5	102.3	114.1
1.50	9	18.3	27.7	37.3	46.9	56.6	66.3	76.1	86	95.9
1.75	7.8	15.9	24	32.3	40.5	48.9	57.3	65.7	74.2	82.7
2.00	6.9	14	21.2	28.4	35.7	43	50.4	57.8	65.2	72.7
2.25	6.2	12.6	19	25.4	31.9	38.4	45	51.6	58.2	64.8
2.50	5.6	11.4	17.2	23	28.8	43.7	40.6	46.6	52.5	58.5
2.75	5.2	10.4	15.7	21	26.3	31.7	37.1	42.5	47.9	53.3
3.00	4.7	9.6	14.4	19.3	24.2	29.1	34.1	39	44	49
3.25	4.4	8.9	13.3	17.9	22.4	26.9	31.5	36.1	40.7	45.3
3.50	4.1	8.2	12.4	16.6	20.8	25.1	29.3	33.6	37.8	42.1
3.75	3.8	7.7	11.6	15.5	19.5	23.4	27.4	31.4	35.3	39.3
4.00	3.6	7.2	10.9	14.6	18.3	22	25.7	29.4	33.2	36.9
4.25	3.4	6.8	10.3	13.8	17.2	20.7	24.2	27.7	31.3	34.8
4.50	3.2	6.5	9.7	13	16.3	19.6	22.9	26.2	29.5	32.9
4.75	3.1	6.1	9.2	12.3	15.5	18.6	21.7	24.9	28	31.2
5.00	2.9	5.8	8.8	11.7	14.7	17.7	20.7	23.6	26.6	29.6
5.25	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.9	19.7	22.5	25.4	28.2
5.50	2.6	5.3	8	10.7	13.4	16.1	18.8	21.5	24.2	27
5.75	2.5	5.1	7.7	10.2	12.8	15.4	18	20.6	23.2	25.8
6.00	2.4	4.9	7.3	9.8	12.3	14.8	17.3	19.7	22.2	24.7
6.25	2.3	4.7	7.1	9.4	11.8	14.2	16.6	19	21.4	23.8
6.50	2.3	4.5	6.8	9.1	11.4	13.7	15.9	18.2	20.5	22.9
6.75	2.2	4.4	6.5	9.7	10.9	13.2	15.4	17.6	19.8	22
7.00	2.1	4.2	6.3	8.4	10.6	12.7	14.8	17	19.1	21.2
7.25	2	4.1	6.1	8.2	10.2	12.3	14.3	16.4	18.4	20.5
7.50	2	3.9	5.9	7.9	9.9	11.9	13.8	15.8	17.8	19.8
7.75	1.9	3.8	5.7	7.6	9.6	11.5	13.4	15.3	17.3	19.2
8.00	1.8	3.7	5.5	7.4	9.3	11.1	13	14.9	16.7	18.6
8.25	1.8	3.6	5.4	7.2	9	10.8	12.6	14.4	16.2	18
8.50	1.7	3.5	5.2	7	8.7	10.5	12.2	14	15.8	17.5
8.75	1.7	3.4	5.1	6.8	8.5	10.2	11.9	13.6	15.3	17
9.00	1.6	3.3	4.9	6.6	8.2	9.9	11.6	13.2	14.9	16.5
9.25	1.6	3.2	4.8	6.4	8	9.6	11.3	12.9	14.5	16.1
9.50	1.6	3.1	4.7	6.2	7.8	9.4	11	12.5	14.1	15.7
9.75	1.5	3	4.6	6.1	7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.3
10.00	1.5	3	4.4	5.9	7.4	8.9	10.4	11.9	13.4	14.9
10.25	1.4	2.9	4.3	5.8	7.2	8.7	10.2	11.6	13.1	14.5
10.50	1.4	2.8	4.2	5.7	7.1	8.5	9.9	11.3	12.8	14.2
10.75	1.4	2.8	4.1	5.5	6.9	8.3	9.7	11.1	12.5	13.9
11.00	1.3	2.7	4	5.4	6.8	8.1	9.5	10.8	12.2	13.6
11.25	1.3	2.6	4	5.3	6.6	7.9	9.3	10.6	11.9	13.3
11.50	1.3	2.6	3.9	5.2	6.5	7.8	9.1	10.4	11.7	13
11.75	1.3	2.5	3.8	5.1	6.3	7.6	8.9	10.1	11.4	12.7
12.00	1.2	2.5	3.7	5	6.2	7.4	8.7	9.9	11.2	12.4

جدول (32-3)جـ الفقد الحرارى عند K = 0.4

HEAT TRANSFER IN BTU/HR-SQ FT FOR INSULATION WITH
THERMAL CONDUCTIVITY OF 0.4 BTU-IN/HR-SQ FT-DEG F

R	STEAM TEMPERATURE LESS AMBIENT TEMPERATRUE DEG F									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1.00	16.5	33.8	51.6	69.7	88.2	107	126	145.3	164.7	184.2
1.25	13.7	27.9	42.4	57.3	72.3	87.5	102.9	118.4	134	149.8
1.50	11.7	23.7	36.1	48.6	61.2	74	86.9	99.9	113	126.1
1.75	10.2	20.7	31.4	42.2	53.1	64.1	75.2	86.4	97.7	109
2.00	9	18.3	27.7	37.3	46.9	56.6	66.3	76.1	86	95.9
2.25	8.1	16.4	24.9	33.4	42	50.6	59.3	68	76.8	85.6
2.50	7.4	14.9	22.5	30.2	38	45.8	53.6	61.5	69.4	77.4
2.75	6.7	13.6	20.6	27.6	34.7	41.8	48.9	56.1	63.3	70.5
3.00	6.2	12.6	19	25.4	31.9	38.4	45	51.6	58.2	64.8
3.25	5.8	11.6	17.6	23.5	29.6	35.6	41.7	47.7	53.8	60
3.50	5.4	10.9	16.4	21.9	27.5	33.1	38.8	44.4	50.1	55.8
3.75	5	10.2	15.3	20.5	25.8	31	36.3	41.5	46.8	52.1
4.00	4.7	9.6	14.4	19.3	24.2	29.1	34.1	39	44	49
4.25	4.5	9	13.6	18.2	22.8	27.5	32.1	36.8	41.4	46.1
4.50	4.2	8.5	12.9	17.2	21.6	26	30.4	34.8	39.2	43.6
4.75	4	8.1	12.2	16.3	20.5	24.6	28.8	33	37.2	41.4
5.00	3.8	7.7	11.6	15.5	19.5	23.4	27.4	31.4	35.3	39.3
5.25	3.7	7.4	11.1	14.8	18.6	22.3	26.1	29.9	33.7	37.5
5.50	3.5	7	10.6	14.2	17.8	21.3	25	28.6	32.2	35.8
5.75	3.4	6.7	10.1	13.6	17	20.4	23.9	27.3	30.8	34.3
6.00	3.2	6.5	9.7	13	16.3	19.6	22.9	26.2	29.5	32.9
6.25	3.1	6.2	9.4	12.5	15.7	18.8	22	25.2	28.4	31.6
6.50	3	6	9	12	15.1	18.1	21.2	24.2	27.3	30.4
6.75	2.9	5.8	8.7	11.6	14.5	17.5	20.4	23.4	26.3	29.3
7.00	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.9	19.7	22.5	25.4	28.2
7.25	2.7	5.4	8.1	10.8	13.5	16.3	19	21.8	24.5	27.3
7.50	2.6	5.2	7.8	10.5	13.1	15.7	18.4	21	23.7	26.4
7.75	2.5	5	7.6	10.1	12.7	15.2	17.8	20.4	23	25.5
8.00	2.4	4.9	7.3	9.8	12.3	14.8	17.3	19.7	22.2	24.7
8.25	2.4	4.7	7.1	9.5	11.9	14.3	16.7	19.2	21.6	24
8.50	2.3	4.6	6.9	9.3	11.6	13.9	16.3	18.6	20.9	23.3
8.75	2.2	4.5	6.7	9	11.3	13.5	15.8	18.1	20.4	22.6
9.00	2.2	4.4	6.5	8.7	10.9	13.2	15.4	17.6	19.8	22
9.25	2.1	4.2	6.4	8.5	10.7	12.8	15	17.1	19.3	21.4
9.50	2.1	4.1	6.2	8.3	10.4	12.5	14.6	16.7	18.8	20.9
9.75	2	4	6.1	8.1	10.1	12.2	14.2	16.2	18.3	20.3
10.00	2	3.9	5.9	7.9	9.9	11.9	13.8	15.8	17.8	19.8
10.25	1.9	3.8	5.8	7.7	9.6	11.6	13.5	15.5	17.4	19.4
10.50	1.9	3.7	5.6	7.5	9.4	11.3	13.2	15.1	17	18.9
10.75	1.8	3.7	5.5	7.3	9.2	11	12.9	14.7	16.6	18.5
11.00	1.8	3.6	5.4	7.2	9	10.8	12.6	14.4	16.2	18
11.25	1.7	3.5	5.3	7	8.8	10.6	12.3	14.1	15.9	17.6
11.50	1.7	3.4	5.1	6.9	8.6	10.3	12.1	13.8	15.5	17.3
11.75	1.7	3.4	5	6.7	8.4	10.1	11.8	13.5	15.2	16.9
12.00	1.6	3.3	4.9	6.6	8.2	9.9	11.6	13.2	14.9	16.5

جدول (32-3)ء الفقد الحرارى عند K = 0.5

R	HEAT TRANSFER IN BTU/HR-SQ FT FOR INSULATION WITH THERMAL CONDUCTIVITY OF 0.5 BTU-IN/HR-SQ FT-DEG F									
	STEAM TEMPERATURE LESS AMBIENT TEMPERATRUE DEG F									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1.00	19.7	40.6	62.3	84.5	107.1	130.2	153.7	177.5	201.6	225.9
1.25	16.5	33.8	51.6	69.7	88.2	107	126	145.3	164.7	184.2
1.50	14.1	28.9	44	59.4	75	90.8	106.8	122.9	139.2	155.6
1.75	12.4	25.2	38.4	51.7	65.2	78.9	92.7	106.6	120.6	134.6
2.00	11	22.4	34	45.8	57.7	69.7	81.8	94	106.3	118.7
2.25	9.9	20.2	30.6	41.1	51.7	62.5	73.3	84.1	95.1	106.1
2.50	9	18.3	27.7	37.3	46.9	56.6	66.3	76.1	86	95.9
2.75	8.3	16.8	25.4	34.1	42.9	51.7	60.6	69.5	78.5	87.5
3.00	7.6	15.5	23.4	31.4	39.5	47.6	55.8	64	72.2	80.5
3.25	7.1	14.4	21.7	29.1	36.6	44.1	51.6	59.2	66.8	74.5
3.50	6.6	13.4	20.2	27.1	34.1	41.1	48.1	55.1	62.2	69.3
3.75	6.2	12.6	19	25.4	31.9	38.4	45	51.6	58.2	64.8
4.00	5.9	11.8	17.8	23.9	30	36.1	42.3	48.5	54.7	60.9
4.25	5.5	11.2	16.8	22.6	28.3	34.1	39.9	45.7	51.5	57.4
4.50	5.2	10.6	15.9	21.3	26.8	32.2	37.7	43.2	48.7	54.3
4.75	5	10	15.1	20.3	25.4	30.6	35.8	41	46.2	51.5
5.00	4.7	9.6	14.4	19.3	24.2	29.1	34.1	39	44	49
5.25	4.5	9.1	13.7	18.4	23.1	27.8	32.5	37.2	41.9	46.7
5.50	4.3	8.7	13.1	17.6	22.1	26.5	31	35.5	40.1	44.6
5.75	4.2	8.4	12.6	16.9	21.1	25.4	29.7	34	38.4	42.7
6.00	4	8	12.1	16.2	20.3	24.4	28.5	32.6	36.8	40.9
6.25	3.8	7.7	11.6	15.5	19.5	23.4	27.4	31.4	35.3	39.3
6.50	3.7	7.4	11.2	15	18.8	22.6	26.4	30.2	34	37.8
6.75	3.6	7.2	10.8	14.4	18.1	21.7	25.4	29.1	32.8	36.5
7.00	3.4	6.9	10.4	13.9	17.4	21	24.5	28.1	31.6	35.2
7.25	3.3	6.7	10.1	13.5	16.9	20.3	23.7	27.1	30.5	34
7.50	3.2	6.5	9.7	13	16.3	19.6	22.9	26.2	29.5	32.9
7.75	3.1	6.3	9.4	12.6	15.8	19	22.2	25.4	28.6	31.8
8.00	3	6.1	9.1	12.2	15.3	18.4	21.5	24.6	27.7	30.8
8.25	2.9	5.9	8.9	11.9	14.9	17.9	20.9	23.9	26.9	29.9
8.50	2.9	5.7	8.6	11.5	14.4	17.3	20.3	23.2	26.1	29
8.75	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.9	19.7	22.5	25.4	28.2
9.00	2.7	5.4	8.1	10.9	13.6	16.4	19.1	21.9	24.7	27.5
9.25	2.6	5.3	7.9	10.6	13.3	16	18.6	21.3	24	26.7
9.50	2.6	5.1	7.7	10.3	12.9	15.5	18.2	20.8	23.4	26
9.75	2.5	5	7.5	10.1	12.6	15.1	17.7	20.2	22.8	25.4
10.00	2.4	4.9	7.3	9.8	12.3	14.8	17.3	19.7	22.2	24.7
10.25	2.4	4.8	7.2	9.6	12	14.4	16.8	19.3	21.7	24.1
10.50	2.3	4.7	7	9.4	11.7	14.1	16.4	18.8	21.2	23.6
10.75	2.3	4.6	6.8	9.1	11.5	13.8	16.1	18.4	20.7	23
11.00	2.2	4.5	6.7	8.9	11.2	13.5	15.7	18	20.2	22.5
11.25	2.2	4.4	6.5	8.7	10.9	13.2	15.4	17.6	19.8	22
11.50	2.1	4.3	6.4	8.6	10.7	12.9	15	17.2	19.4	21.5
11.75	2.1	4.2	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7	16.8	19	21.1
12.00	2	4.1	6.1	8.2	10.3	12.3	14.4	16.5	18.6	20.6

جدول (32-3)هـ الفقد الحرارى عند K = 0.6

HEAT TRANSFER IN BTU/HR-SQ FT FOR INSULATION WITH THERMAL CONDUCTIVITY OF 0.6 BTU-IN/HR-SQ FT-DEG F

R	STEAM TEMPERATURE LESS AMBIENT TEMPERATRUE DEG F									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1.00	22.7	47	72.3	98.3	125	152.3	180.1	208.3	236.9	265.9
1.25	19.1	39.3	80.2	81.6	103.5	125.7	148.3	171.2	194.3	217.7
1.50	16.5	33.8	51.6	69.7	88.2	107	126	145.3	164.7	184.2
1.75	14.5	29.6	45.1	60.9	76.9	93.2	109.6	126.2	142.9	159.7
2.00	12.9	26.4	40.1	54	68.2	82.5	96.9	111.5	126.2	141
2.25	11.7	23.7	36.1	48.6	61.2	74	86.9	99.9	113	126.1
2.50	10.6	21.6	32.8	44.1	55.6	67.1	78.8	90.5	102.3	114.1
2.75	9.8	19.8	30	40.4	50.8	61.4	72	82.7	93.4	104.2
3.00	9	18.3	27.7	37.3	46.9	56.6	66.3	76.1	86	95.9
3.25	8.4	17	25.7	34.6	43.5	52.4	61.5	70.5	79.7	88.8
3.50	7.8	15.9	24	32.3	40.5	48.9	57.3	65.7	74.2	82.7
3.75	7.4	14.9	22.5	30.2	38	45.8	53.6	61.5	69.4	77.4
4.00	6.9	14	21.2	28.4	35.7	43	50.4	57.8	65.2	72.7
4.25	6.6	13.3	20	26.8	33.7	40.6	47.6	54.5	61.5	68.5
4.50	6.2	12.6	19	25.4	31.9	38.4	45	51.6	58.2	64.8
4.75	5.9	11.9	18	24.1	30.3	36.5	42.7	49	55.2	61.5
5.00	5.6	11.4	17.2	23	28.8	34.7	40.6	46.6	52.5	58.5
5.25	5.4	10.9	16.4	21.9	27.5	33.1	38.8	44.4	50.1	55.8
5.50	5.2	10.4	15.7	21	26.3	31.7	37.1	42.5	47.9	53.3
5.75	4.9	10	15	20.1	25.2	30.3	35.5	40.7	45.8	51
6.00	4.7	9.6	14.4	19.3	24.2	29.1	34.1	39	44	49
6.25	4.6	9.2	13.9	18.5	23.3	28	32.7	37.5	42.3	47
6.50	4.4	8.9	13.3	17.9	22.4	26.9	31.5	36.1	40.7	45.3
6.75	4.2	8.5	12.9	17.2	21.6	26	30.4	34.8	39.2	43.6
7.00	4.1	8.2	12.4	16.6	20.8	25.1	29.3	33.6	37.8	42.1
7.25	4	8	12	16.1	20.1	24.2	28.3	32.4	36.5	40.7
7.50	3.8	7.7	11.6	15.5	19.5	23.4	27.4	31.4	35.3	39.3
7.75	3.7	7.5	11.3	15.1	18.9	22.7	26.5	30.4	34.2	38.1
8.00	3.6	7.2	10.9	14.6	18.3	22	25.7	29.4	33.2	36.9
8.25	3.5	7	10.6	14.2	17.8	21.3	25	28.6	32.2	35.8
8.50	3.4	6.8	10.3	13.8	17.2	20.7	24.2	27.7	31.3	34.8
8.75	3.3	6.6	10	13.4	16.8	20.2	23.6	27	30.4	33.8
9.00	3.2	6.5	9.7	13	16.3	19.6	22.9	26.2	29.5	32.9
9.25	3.1	6.3	9.5	12.7	15.9	19.1	22.3	25.5	28.8	32
9.50	3.1	6.1	9.2	12.3	15.5	18.6	21.7	24.9	28	31.2
9.75	3	6	9	12	15.1	18.1	21.2	24.2	27.3	30.4
10.00	2.9	5.8	8.8	11.7	14.7	17.7	20.7	23.6	26.6	29.6
10.25	2.8	5.7	8.6	11.5	14.4	17.3	20.2	23.1	26	28.9
10.50	2.8	5.6	8.4	11.2	14	16.9	19.7	22.5	25.4	28.2
10.75	2.7	5.4	8.2	10.9	13.7	16.5	19.2	22	24.8	27.6
11.00	2.6	5.3	8	10.7	13.4	16.1	18.8	21.5	24.2	27
11.25	2.6	5.2	7.8	10.5	13.1	15.7	18.4	21	23.7	26.4
11.50	2.5	5.1	7.7	10.2	12.8	15.4	18	20.6	23.2	25.8
11.75	2.5	5	7.5	10	12.6	15.1	17.6	20.2	22.7	25.3
12.00	2.4	4.9	7.3	9.8	12.3	14.8	17.3	19.7	22.2	24.7

جدول (33-3) العلاقة بين سرعة الرياح والفقد الحرارى النسبى

سرعة الرياح km / hr	الفقد الحرارى النسبى
هواء ساكن	1.0
5	1.5
10	2.0
14	2.5
19	3.0
26	3.5
34	4.0

(3-8) أمثلة لعمليات تستهلك البخار Steam consuming process

سنتعرض فى هذا الفصل لعمليتين يعتمد تشغيلهماعلى إستهلاك البخارهما تجفيف وتسخين المياه:

1- المجفف Dryer

المجفف عبارة عن وحدة تسخين تصمم لفصل المواد المتطايرة ، مثل المذيبات العضوية (organic solvents) والمياه . تعمل وحدات التجفيف عند درجات حرارة متوسطة من $65\ ^0C$ إلى حوالى $175\ ^0C$

توجد أنواع متعددة من المجففات منها :

* مجفف من النوع ذى التلامس المباشر مع اللهب

(Direct - Contact - Fired dryer)

فى هذا النوع تستخدم غازات الإحتراق فى عملية التجفيف .

* مجفف من النوع غير المتلامس مباشرة مع اللهب

(Indirect - Contact - Fired dryer)

فى هذا النوع تمر غازات الإحتراق على مبادل حرارى ، ويستخدم هواء ساخن أو أى مائع آخر لعملية التجفيف .

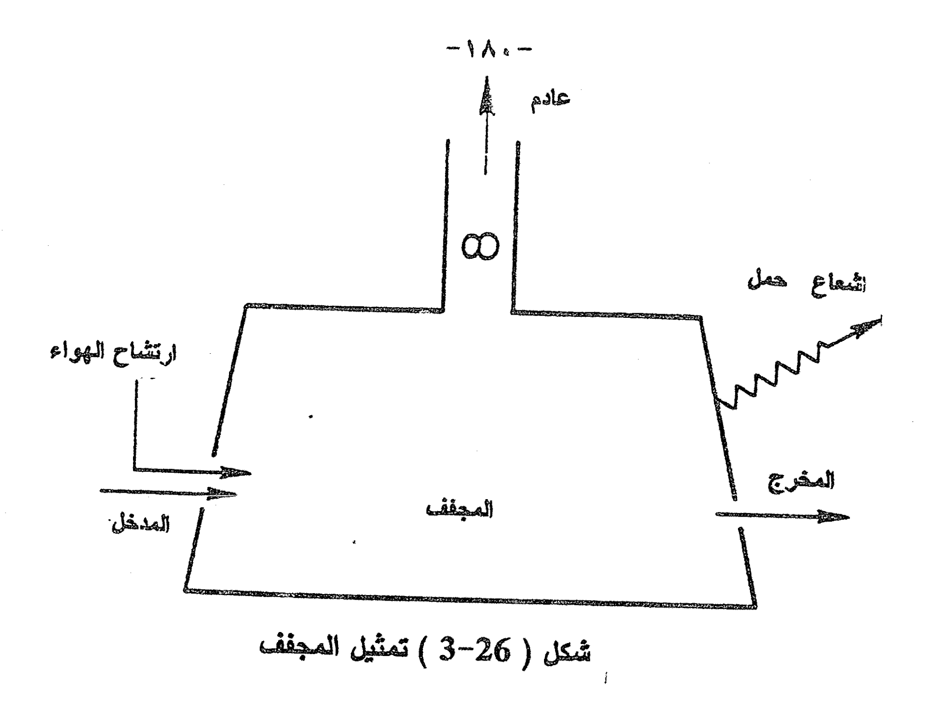
* مجفف من النوع غير المتلامس مباشرة ويستخدم مائع حرارى

(Indirect - Contact dryer using thermal fluid)

فى هذا النوع لا يوجد نظام للأحتراق ولكن يستخدم مائع حرارى ساخن مثل البخار للتجفيف ، وهذا النوع هو ما سنتعرض له فقط بالتوضيح . يمثل شكل (3-26) تمثيل للمجفف بينما يوضح شكل (3-27) سريان الطاقة والمداخل والمخارج والمفقودات بالمجفف .

يراعى أن يكون عزل سطح المجفف جيدا وكذلك تخفض درجة حرارة التشغيل للمجفف وذلك لتقليل فقد الأشعاع (radiation loss) بينما من عوامل تقليل فقد التهوية (vent loss) فى المجفف تزويد الرطوبة وتقليل درجة حرارة التشغيل

وفيما يلى عرض مفقودات المجفف :



شكل (26-3) تمثيل المجفف

أ- ارتشاح الهواء (Air infiltration)

نتيجة مرور كمية من الهواء بالمجفف أكثر من المطلوب فإن ذلك يعنى إرتفاع سخونة الهواء المتحرك داخل المجفف ، والذى يتدفق فى الجو المحيط . وعلى ذلك يجب أن تكون الرطوبة داخل المجفف أقصى ما يمكن حتى يمكن الوصول إلى أقل فقد فى الهواء الساخن .

يخضع معدل سريان الهواء للمعادلة الأتية :

$$\overline{m}_A = \overline{m}_W / W \text{ ....} (3\text{-}4)$$

حيث :

$\overline{m}_A$ = معدل سريان كتلة الهواء بوحدات باوند كتلة / ساعة

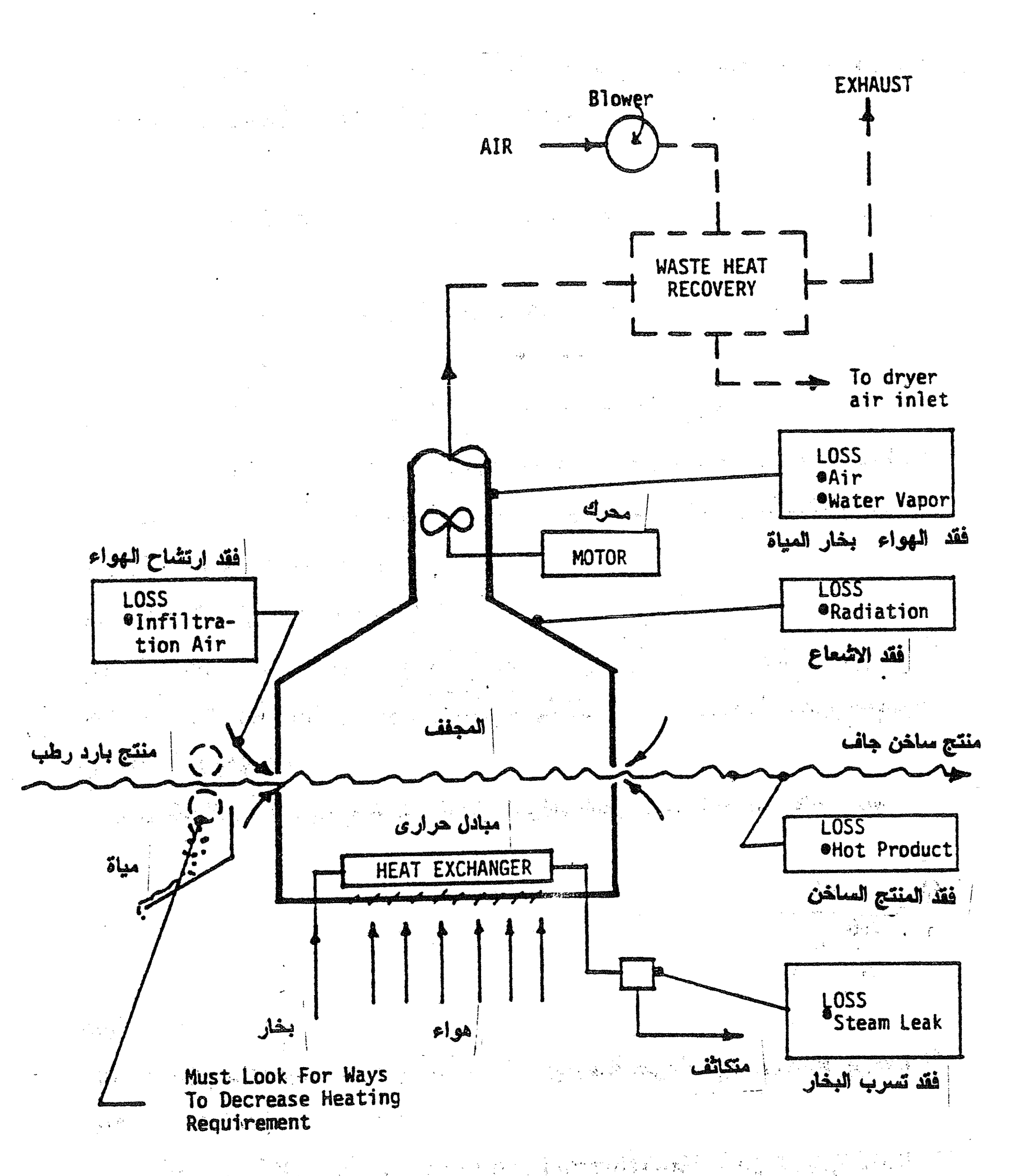
(mass flow rate of air in lbm / hr)

$\overline{m}_W$ = معدل سريان كتلة المياه بوحدات باوند كتلة / ساعة

(mass flow rate of water in lbm / hr)

w = الرطوبة النوعية لخليط بخار المياه / الهواء بوحدات باوند كتلة مياه / باوند كتلة هواء

(specific humidity of air-water vapor mixture in lbm water/lbm air)



شكل (27-3) سريان الطاقة بالمجفف

ونحصل على محتوى الطاقة المحسوسة فى غاز العادم ، عند درجة حرارة أعلى من درجة الحرارة المحيطة بـ $70\ ^{0}F$ من المعادلة الآتية :

$$E = 0.44\ \overline{m}_W (T - 70) + 0.24\ \overline{m}_A (T - 70) \quad \cdots\cdots\cdots (3\text{-}5)$$

حيث T = درجة حرارة العادم بوحدات فهرنهيت (^{0}F)

وتكون وحدات محتوى الطاقة BTU / hr

ب - إسترجاع الحرارة المفقودة (waste heat recovery)

تكون درجة حرارة عادم المجفف أعلى من درجة حرارة الهـواء الداخل . يمكن إستخدام العادم للتسـخين المتقدم للمياه (preheat water) . وتوجد فرص متعددة لإسترجاع الحرارة المفقودة من عادم المجفف .

جـ - فقد الحرارة (Heat loss)

يعتمد فقد الحرارة من الأسطح الخارجية للمجفف على درجة حرارة المجفف وعلى المـادة العازلـة المستخدمة . يمكن الحصول على كمية فقد الحـرارة للمجفـف غـير المعـزول بإستخدام شكل(3-28)

ولحساب فقد الحرارة لكل وحدة مساحة من المجفف المعزول تستخدم المعادلة الآتية :

$$\frac{Q}{A} = \frac{\Delta T}{\frac{\Delta L}{k_i} + \frac{1}{h_c}}$$

حيث :

ΔT = الفرق بين درجة الحرارة داخل المجفف ودرجة حرارة الجو المحيط بوحدة ^{0}F

ΔL = سمك العزل

k_i = الموصولية الحرارية (thermal conductivity) للعزل (من شكل (3-24))

h_c = معامل التحول الحرارى للتوصيل والأشعاع (من شكل (3-25))

(combined convective / radiative heat transfer coefficient)

2- خزانات التسخين المفتوحة للسوائل

(Heating open tanks of process fluids)

يوضح شكل (3-29) خزان يحتوى على مياه . تتمثل الطاقة المفقودة فى فقد حرارة الأشعاع والتوصيل من السطح غير المغطى ومن جوانب الخزان . وأيضا من عملية التبخير، ومن وسائل تقليل الفقد الناتج من عملية التبخير (evaporation) فى الخزان :

- تخفيض درجة حرارة السائل .
- تركيب غطاء .
- تقليل مساحة السائل المكشوف .
- تقليل سريان الهواء أعلى الخزان .

ولحساب فقد التبخير يجب معرفة درجة حرارة مياه الخزان ودرجة الحرارة المحيطة كما فى جدول (3-34) تكون درجة الحرارة المحيطة للهواء الجاف وفىعدم سريان الرياح . ويلاحظ أنه فى وجود مروحة سحب هواء أعلى الخزان تتضاعف المفقودات المعطاة .

مثـال

معدل سريان كتلة المياه من مجفف 1000 lbm / hr ، درجة حرارة العادم $400\ ^0F$ إحسب الأختلاف فى تكلفة الطاقة بين حالتى التشغيل عند رطوبة نوعية 0.5 & 0.05 (lbm water / lbm air) . إفرض أن تكلفة البخار 10 $ لكل ألف باوند أو 10 $ لكل مليون BTU . كذلك إحسب كمية الحرارة المفقودة المسترجعة عن طريق تركيب مبادل حرارى لتخفيض درجة حرارة العادم إلى $200\ ^0F$ عند W = 0.05

الحل

بالتعويض فى المعادلة رقم (3-4) فىحالة W = 0.5

$\overline{m}_w = 1000\ lbm/hr$

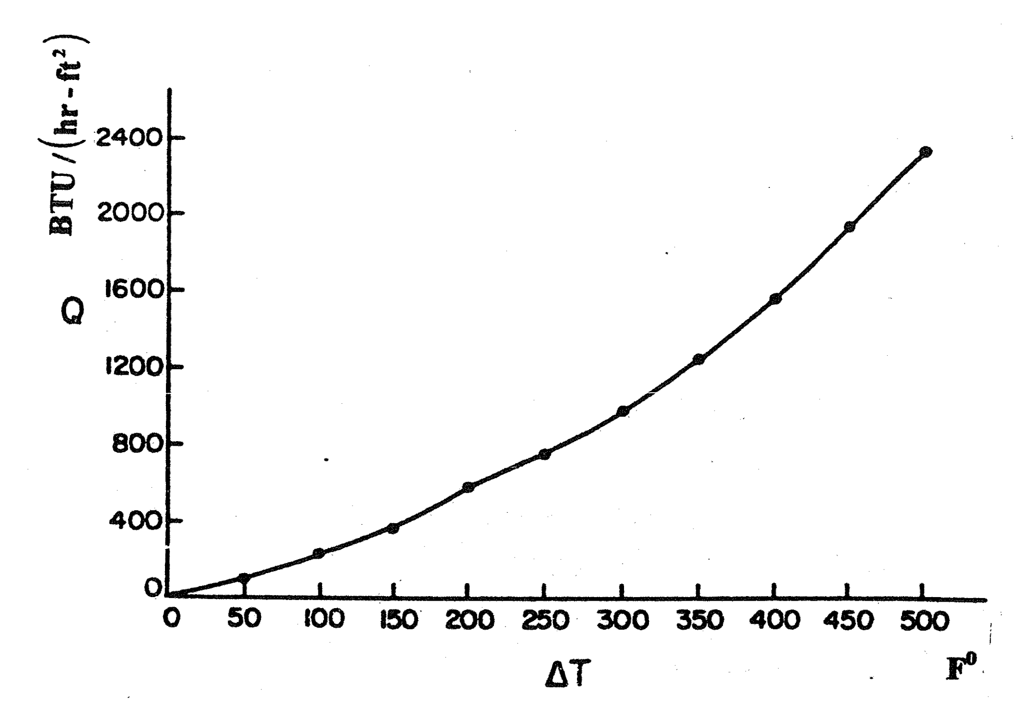
$W = 0.5$

$\overline{m}A = 2000\ lbm\ air/hr$

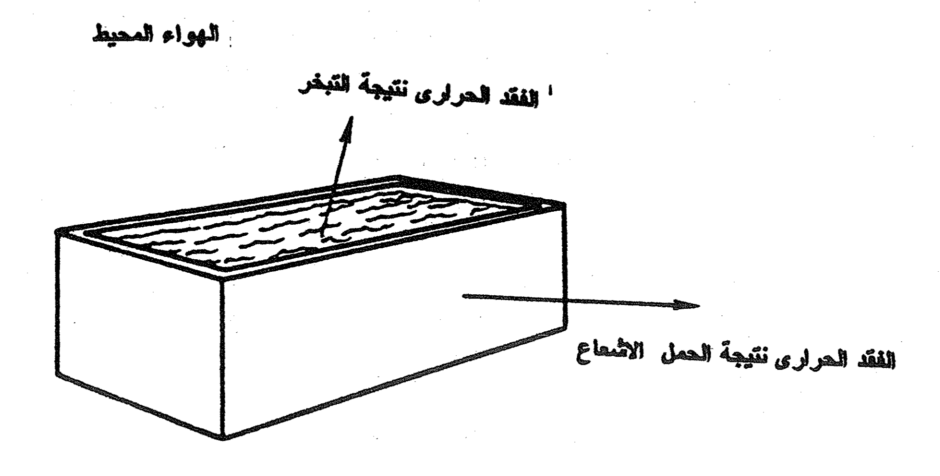
$E = 303600\ BTU/hr$

وفى حالة w = 0.05

$\overline{m}_w = 1000\ lbm/hr$



شكل (28-3) المفقودات الحرارية للاجسم غير المعزولة



شكل (29-3) خزان مكشوف

$W = 0.05$

$\overline{m}_A = 20000$ lbm air/hr

$E = 1729200$ BTU/hr

تكلفة الطاقة عند $w = 0.5$

تكلفة الطاقة = (303600 BTU/hr) (8760 hr/y) ($ 10 $\times 10^{-6}$ BTU)

= $ 26595

تكلفة الطاقة عند $w = 0.05$

تكلفة الطاقة = (1729200 BTU/hr) (8760 hr/y) ($ 10 $\times 10^{-6}$ BTU)

= $ 151478

وعلى ذلك فإن فرق التكلفة نتيجة زيادة الرطوبة من 0.05 إلى 0.5

الوفر = 151478 - 26595 = $ 124883

لحساب كمية الحرارة المفقودة المسترجعة عند تركيب مبادل حرارى فإن

$\Delta T = 400 - 200 = 200 \ ^{o}F$

وبالتعويض فى المعادلة رقم (5-3) بإستخدام

$\overline{m}_W = 1000$ lbm / hr

$\overline{m}_A = 20000$ lbm air/hr

$$\therefore E = 0.44 \times 100 \times 200 + 0.24 \times 20000 \times 200$$
$$= 1048000 \text{ BTU/hr}$$

ويكون الوفر السنوى

الوفر = (1048000 BTU/hr) (8760 hr/y) ($ 10 $\times 10^{-6}$ BTU)

= $ 91805

مثال

مجفف طوله 100 ft وإرتفاعه 10 ft وعرضه 12 ft، سمك العزل للمجفف 1 بوصة، والموصولية الحرارية 0.2 BTU-in / (hr ft^2 F^0) ، درجة حرارة السطح الداخلى 200F^0 ودرجة الحرارة المحيطة 100F^0 ، إحسب الوفر الناتج من إضافة 1 بوصة عزل من نفس العزل المستخدم .

الحـل

تتبع الخطوات التالية للحصول على المطلوب :

(أ) حساب $\frac{Q}{A}$

من جداول الفقد الحرارى (3-32) نحصل على $\frac{Q}{A}$ عند $\Delta T = 100\ ^0F$ كالآتى

عند سمك عزل $\Delta L = 1''$ فإن $\frac{Q}{A} = 18.3\ \text{BTU/hr ft}^2$

عند سمك عزل $\Delta L = 2''$ فإن $\frac{Q}{A} = 9.6\ \text{BTU/hr ft}^2$

(ب) حساب المساحة A للمجفف

$$A = (2 \times 10\ \text{ft} \times 100\ \text{ft}) + (2 \times 10\ \text{ft} \times 12\ \text{ft}) + (1 \times 12\ \text{ft} \times 100\ \text{ft})$$
$$= 3440\ \text{ft}^2$$

(جـ) حساب فقد الطاقة خلال عام (Q)

عند سمك عزل $\Delta L = 1''$ فإن.

فقد الطاقة $= (8760\ \text{hr/y})\ (18.3\ \text{BTU/hr ft}^2)\ (3440\ \text{ft}^2)$
$= 551 \times 10^6\ \text{BTU/y}$

عند سمك عزل $\Delta L = 2''$ فإن

فقد الطاقة $= (8760\ \text{hr/y})\ (9.6\ \text{BTU/hr ft}^2)\ (3440\ \text{ft}^2)$
$= 289 \times 10^6\ \text{BTU/y}$

بفرض أن تكلفة البخار $10 لكل مليون BTU فإن :

تكلفة وفر الطاقة خلال عام $= (551 \times 10^6 - 289 \times 10^6)(\$10 \times 10^{-6}) = \$\ 2620$

جدول (3-34)

الفقد الحرارى من خزان مياه مفتوح

الفقد الحرارى BTU/hr ft2 جو محيط جاف										
درجة حرارة السائل ^{o}F	درجة الحرارة المحيطة (^{o}F)									
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
110	244	233	222	211	200	189	177	165	152	138
115	291	279	268	256	245	233	221	208	195	162
120	345	333	321	309	297	284	271	259	245	231
125	407	395	382	369	356	343	330	317	303	289
130	479	465	452	438	425	411	397	383	369	355
135	561	547	533	519	504	490	475	461	446	431
140	655	641	626	611	596	580	565	550	534	519
145	764	748	733	717	701	685	669	653	636	620
150	889	872	856	839	822	805	788	771	754	737
155	1032	1015	997	979	962	944	926	908	890	872
160	1198	1179	1160	1142	1123	1104	1085	1067	1048	1029
165	1388	1368	1349	1329	1309	1289	1269	1249	1230	1210
170	1608	1587	1566	1545	1524	1503	1482	1461	1440	1419
175	1862	1840	1817	1795	1773	1751	1728	1706	1684	1662
180	2157	2133	2109	2085	2062	2038	2014	1991	1967	1944
185	2499	2474	2448	2423	2397	2372	2347	2322	2297	2272
190	2900	2872	2845	2818	2790	2764	2737	2710	2684	2657
195	3369	3339	3310	3280	3251	3223	3194	3165	3137	3109
200	3923	3890	3859	3827	3796	3765	3734	3703	3673	3643

(3-9) الوفر فى البخار و الوقود

أ - الوفر فى البخار

تعتمد حسابات الوفر فى البخار المشبع على :

- ضغط البخار
- الفقد الحرارى فى المواسير (Btu / hr)
- فى حالة إضافة مواد عازلة للمواسير يذكر قيمة الوفر فى الفقد نتيجة هذه المواد

وتتم الحسابات كالآتى :

1 - الانخفاض فى الفقد الحرارى

= الفقد الحرارى فى المواسير - الوفر فى الفقد نتيجة تركيب الماده العازلة

2 - من جداول البخار المشبع نحصل على الانثالبيا (الحرارة الكلية) عند ضغط البخار المذكور

3 - ثم نحسب الوفر فى البخار = $\frac{\text{الانخفاض فى الفقد الحرارى}}{\text{الحرارة الكلية للبخار}}$

ب - حساب الوفر فى الوقود

تعتمد حسابات الوفر فى الوقود المستخدم للحصول على بخار مشبع مثلا ، على :

- ضغط البخار
- الفقد الحرارى فى المواسير
- فى حالة إضافة مواد عازلة للمواسير يذكر قيمة الوفر فى الفقد نتيجة هذه المواد
- كفاءة الغلاية
- درجة حرارة المتكاثف

وتتم الحسابات كالآتى :

نفس الخطوات 3 , 2 ,1 حتى نحصل على الوفر فى البخار

4 - من جداول البخار المشبع نحصل على الانثالبيا للمتكاثف (محتوى الحرارة للمتكاثف) عند درجة حرارة المتكاثف المذكورة

5 - نحسب محتوى الحرارة المطلوب لتوليد بخار عند الضغط المذكور (من المتكاثف) .

= الحرارة الكلية للبخار(الخطوة رقم 2) - الحرارة الكلية للمتكاثف (الخطوة رقم 4)

6 - نحسب الوفر فى الوقود

$$= \frac{(\text{الوفر فى البخار}) \times (\text{محتوى الحرارة المطلوبة لتوليد بخار (خطوة 5)})}{\text{كفاءة الغلاية}}$$

مثـال

مواسير تحمل بخار مشبع بطـول 100 ft ، وقطر 6 in عند ضغط $95\ P_{sig}$ ، يقـدر الفقـد الحرارى من المواسير بما قيمته 110,000 Btu / hr ، بإضافة مواد عازله ذات خصائص عاليه سيقل الفقد بما قيمته 500 Btu / hr

كم الوفر من البخار بوحدات lb / hr فى حالة وجود العزل

وإذا كانت كفاءة الغلاية 80 % كم الوفر الناتج فى الطاقة ، المتكـاثف يعاد إلى الغلاية عند درجة حرارة $212\ F^0$

الحـل

$110,000 - 500 = 109500\ \text{Btu / hr}$ = الانخفاض فى الفقد الحرارى

من جداول البخار المشبع وعند الضغط $95\ P_{sig}$ نحصل على :

$\cong 1188.4\ \text{Btu / lb}$ الحرارة الكلية للبخار (الانثالبيا)

وعلى ذلك يمكن حساب الوفر فى البخار كالآتى :

$$\text{الوفر فى البخار} = \frac{\text{الانخفاض فى الفقد الحرارى}}{\text{الحرارة الكلية للبخار}}$$

$$= \frac{109500\ \text{Btu/hr}}{1188.4\ \text{Btu/lb}} \cong 92\ \text{lb/hr}$$

ومن جداول البخار المشـبع أيضا وعند درجة حرارة المتكـاثف $212\ F^0$ نحصل على محتوى الحرارة للمتكاثف (الانثالبيا للمتكاثف) حوالى 180 Btu / lb

ثم نحسب محتوى الحرارة المطلوبة لتوليد بخار عند $95\ P_{sig}$ من المتكاثف

$$= 1188.4 - 180 = 1008.4\ \text{Btu/lb}$$

ويكون :

$$\text{الوفر فى الوقود} = \frac{(\text{الوفر فى البخار})(\text{محتوى الحرارة المطلوبة لتوليد بخار عند } 95\ P_{sig})}{\text{كفاءة الغلاية}}$$

$$= \frac{(1008.4\ \text{Btu/lb})(92\ \text{lb/hr})}{0.8} \cong 116000\ \text{Btu/hr}$$

مثال

فى المثال السابق ، بفرض أن خط البخار يحمل بخار محمص عند ضغط 250 Psia (أو 235 Psig) وعند درجة حرارة $500\ F^0$ ، لنفس الانخفاض فى الفقد الحرارى أى 109500 Btu / hr احسب الوفر فى البخار .

الحل

من جداول البخار المحمص فان الإنثالبيا للبخار المحمص عند $250\ P_{sig}$ ، $500\ F^0$ تكون :

$$\text{الانثالبيا للبخار المحمص} = 1263.5\ \text{Btu/lb}$$

ثم نحسب الوفر فى البخار كالآتى :

$$\text{الوفر فى البخار المحمص} = \frac{\text{الانخفاض فى الفقد الحرارى}}{\text{الحرارة الكلية للبخار (الانثالبيا)}}$$

$$= \frac{109500\ \text{Btu/hr}}{1263.5\ \text{Btu/lb}} = 86.66\ \text{lb/hr}$$

تكلفة البخار

تعتمد تكلفة طن البخار على :

- مقدار الفقد الحرارى فى مكونات النظام
- ضغط البخار
- درجة حرارة البخار
- درجة حرارة مياه التغذية المستخدمة فى توليد البخار

مثـال

يتم توليد البخار المشبع عند ضغط يعادل 10 بار من غلاية تعمل بالمازوت .

درجة حرارة مياه التغذية = 85^0 م

الكفاءة الكلية للغلاية = 75 %

القيمة الحرارية للمازوت = 43 مليون كيلوجول / طن مازوت

سعر طن المازوت = 150 جنيه مصرى

احسب تكلفة طن بخار .

الحـل

من جداول البخار المشبع عند ضغط 10 بار (أى 1 MPa) فإن :

انثالبيا البخار المشبع (محتوى الطاقة) = 2778.1 كيلوجول / كجم بخار مشبع

عند درجة حرارة مياه التغذية 85^0 م فإن :

انثالبيا مياه التغذية (محتوى الطاقة) = 355.9 كيلوجول / كجم مياه

كمية الطاقة اللازمة لتوليد البخار المشبع عند ضغط يعادل 10 بار من مياه تغذيه عند 85^0 م تكون :

$$=2778.1 - 355.9 = 2422.2 \quad KJ/Kg$$

كمية الحرارة المختزنة فى المازوت والمطلوبه لانتاج طن واحد بخار

$$= \frac{\text{كمية الطاقة اللازمة لتوليد البخار المشبع}}{\text{كفاءة الغلاية}}$$

$$= \frac{2422.2}{0.75} = 3229.6 \text{ KJ/Kg}$$

أى تساوى 3.23 مليون كيلوجول / طن بخار

كمية المازوت المطلوبة لانتاج طن واحد بخار

$$= \frac{\text{كمية الحرارة المختزنة فى المازوت والمطلوبة لانتاج طن واحد بخار}}{\text{القيمة الحرارية للمازوت}}$$

$= \frac{3.23}{43} = 0.075$ طن مازوت /طن بخار

تكلفة طن البخار = كمية المازوت المطلوبة لانتاج طن واحد بخار × سعر طن المازوت

$= 0.075 \times 150$

= 11.25 جنيه مصرى / طن بخار

الباب الرابع
الغلايات ونظم الأحتراق
Boilers and Fired system

4-1 الغلايات Boilers

تستخدم الغلايات لإنتاج بخار عند ضغط معين ودرجة حرارة معينة ، تبعا للغرض من الإستخدام مع أقل معدل استهلاك للوقود وأعلى كفاءة للغلاية .

يوجد نوعين من الغلايات البخاريه (التى تعمل بالوقود) هما :

- غلايات ذات أنابيب اللهب (fire tubes)

  تتراوح كفاءة الغلاية بين 0.6 - 0.85

- غلايات ذات أنابيب المياه (water tubes)

  تتراوح كفاءة الغلاية بين 0.8 - 0.98

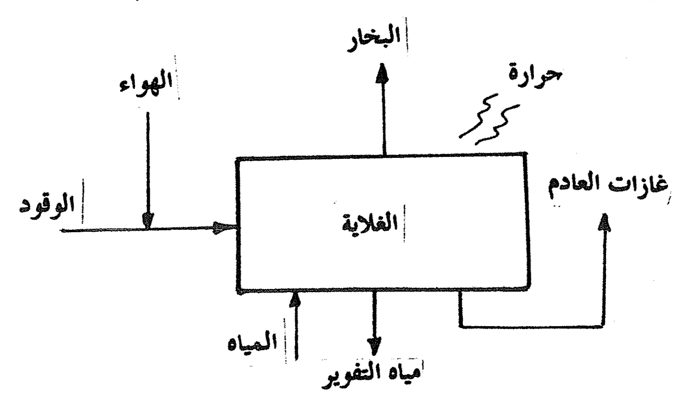
وتستخدم أى من الغلايتين فى إنتاج البخار المشبع لاستخدامه فى التسخين أو إنتاج بخار محمص لإستخدامه فى توليد الكهرباء .

عموما يمكن تمثيل الغلاية كما فى شكل (1-4)

حيث تكون المداخل المغذية للغلاية هى : الوقود ، الهواء ، المياه .

وتكون المخارج هى : البخار وغازات العادم ومياه التفوير والحرارة .

ويمكن أن يكون الوقود المستخدم : الغاز الطبيعى - البترول - الفحم - الخشب .



شكل (1-4) تمثيل الغلاية

(ادارة طلب الطاقة -١)

وفيما يلى فكرة عن الغلاية ذات أنابيب اللهب والغلاية ذات أنابيب المياه ....

1- الغلاية ذات أنابيب اللهب

تتكون الغلاية كما فى شكل (2-4) من إسطوانة أفقية كبيرة يمر بها عدد من الأنابيب . تتصل هذه الأنابيب من الجانبين بألواح الأنابيب لتشكل مسارا لعودة الغازات ، تكون الأسطوانة مملوءة بالمياه (أو بالزيت تبعا للنوع) بحيث تغطى أعلى مجموعة من الأنابيب كما فى المقطع الرأسى للغلاية ، وتحاط إسطوانة الغلاية بمادة عازلة للحرارة . وتوجد بسطح الأسطوانة فتحات لدخول أفراد أو لدخول اليد فقط وذلك لإمكانية الفحص والنظافة. توجد أنبوبة الفرن فى الوسط وهى من النوع المتموج المعرج لتتحمل الضغط داخل الغلاية . تجهز حول أنبوبة الفرن مواسير لعودة غازات الإحتراق ، والتى تكون ذات مقاسات أصغر .

تغطى جميع المواسير بالكامل بالمياه وذلك لتجنب حدوث زيادة تسخين .

تغذى الغلاية بالهواء عن طريق مروحة ، يخلط الهواء بالوقود فيحدث الأحتراق (combustion) فى أنبوبة الفرن . تتجه غازات العادم الساخنه ، الناتجه من عملية الأحتراق ، على طول الأسطوانة إلى أسفل أنبوبة الفرن وإلى مؤخرة الغلاية ثم ترد من خلال الجسم المعزول ، - ثم تعود خلال أنابيب العودة إلى مقدمة الغلاية ثم تخرج من ماسورة العادم إلى أعلى. يمكن أن تمر غازات العادم الساخن خلال الإسطوانة عدة مرات.

يجهز جسم الغلاية بالأجهزة الآتية :

- صمام أمان (safety valve) وذلك للتغلب على حدوث إرتفاع فى الضغط .
- أنبوبة بيان للمياه وذلك للتحقق من مستوى المياه فى الأسطوانة .

2- الغلاية ذات أنابيب المياه

تتكون الغلاية من بالون (Drum) علوى وآخر سفلى يربط بينهما عدد كبير من المواسير يمر بهم دائريا مياه الغلاية . وتكون هذه المواسير فى مسار مرور غازات الأحتراق .

عند حدوث الأحتراق تتولد غازات ساخنة تحيط بالمواسير المملوءة بالمياه ، تنتقل الحرارة إلى المياه ويتولد البخار. تمر الغازات المنصرفه الساخنة من الفرن إلى داخل الغلاية ثم إلى مدخنة العادم .

يوضح شكل (4-3) مكونات الغلاية ذات أنابيب المياه .

يوضح جدول (4-1) مقارنة بين غلايات أنابيب اللهب وغلايات أنابيب المياه .

3- الغلايات الكهربائية (Electric Boilers)

توجد غلايات تسخين بالمقاومات الكهربائية (Electrical resistance heating elements) بأحجام مختلفة .

تمتاز الغلايات الكهربائية عن غلايات وقود الأحتراق بالنقاط التالية :

- تشغل مساحات أقل .
- لا تحتاج إلى ضبط وتنظيف الولاعة .
- لا توجد مفقودات للعادم .

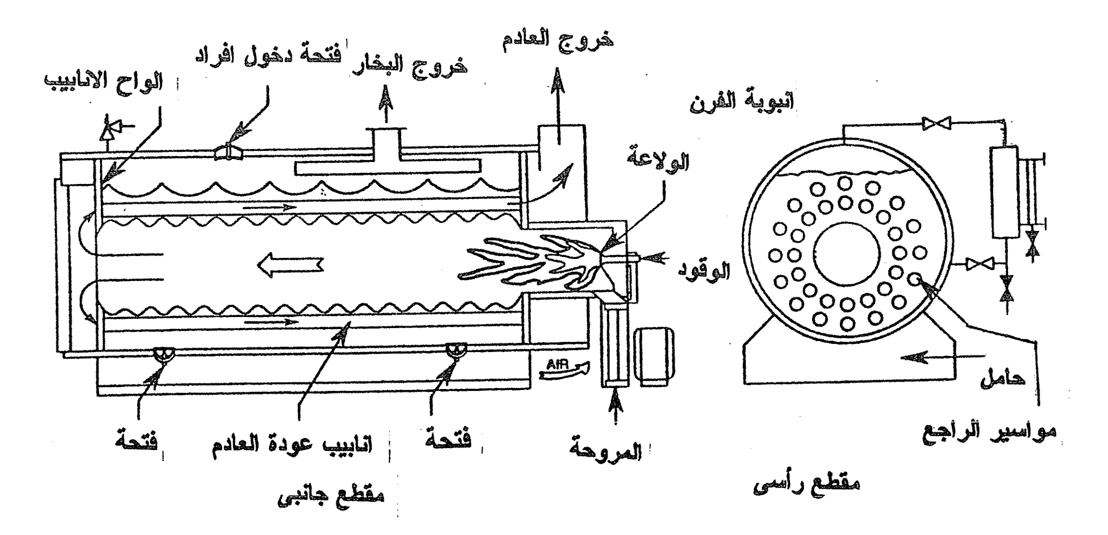
ولكن من وجهة نظر الطاقة فإن الغلاية الكهربائية تكون أقل كفاءة من غلايات وقود الأحتراق .

4- الغلايات متعددة الوقود (Multifuel Boilers)

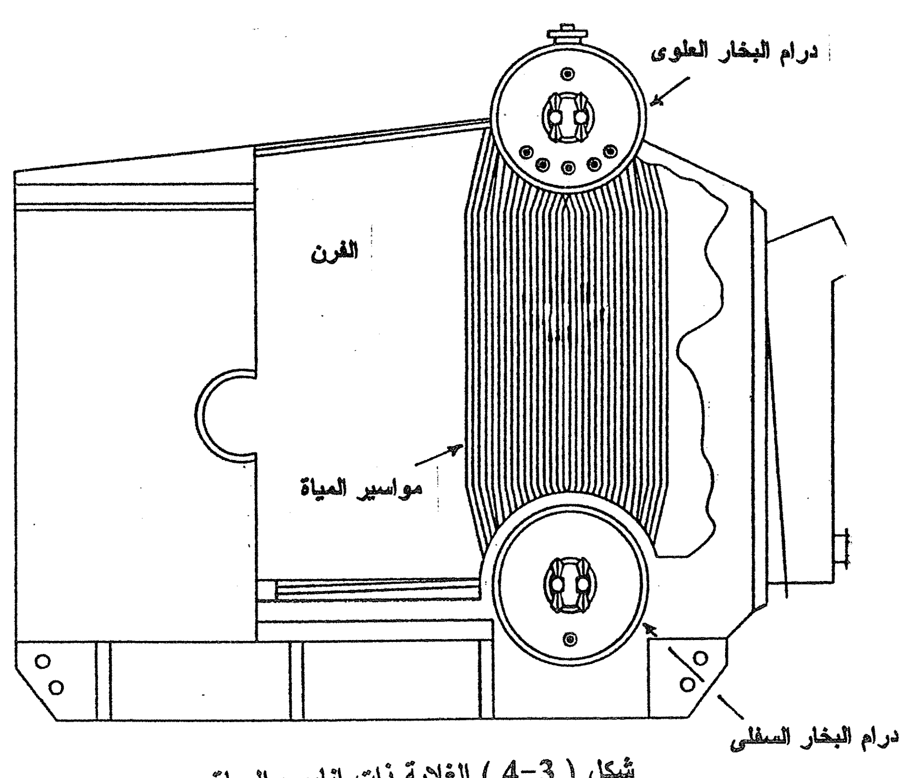
هذه الغلايات تستخدم البترول والغاز بالإضافة إلى الوقود الصلب .

من أنواع الوقود الصلب : الفحم ، الخشب ....

يكون تكلفة الأنشاءات للغلايات متعددة الوقود أضعاف تكلفة الغلايات التى تعمل بالغاز أو البترول . وتكون فترة أسترداد المال حوالى ثلاث سنوات



شكل (2-4) الغلاية ذات أنابيب اللهب



شكل (3-4) الغلاية ذات انابيب المياة

(ادارة طلب الطاقة - ١)

جدول (1-4)
مقارنة بين غلايات أنابيب المياه وغلايات أنابيب اللهب

عنصر المقارنة	غلايات أنابيب المياه	غلايات أنابيب اللهب
ضغط البخار	عالى	منخفض
إحتمال حدوث إنفجار	غير محتمل	محتمل
الصيانة	سهلة	تحتاج مجهود
سعة التبخير	كبيرة	صغيرة
نوعية المياه المستخدمة	معالجة	عادية
كفاءة الشخص القائم بتشغيل الغلاية	ماهر	عادى
فترة التقويم	صغيرة	كبيرة
عمر الغلاية	صغير	كبير

يجب مراعاة الآتى فى الغلايات :

1- عدم تراكم الرواسب والصدأ (Deposits and corrosion) علىجدران الغلاية وملحقاتها نتيجة وجود المياه والبخار .

2- عدم تكوين وتراكم الرواسب والصدأ علىجدران الغلاية وملحقاتها نتيجة وجود المازوت وغازات الأحتراق .

3- عدم تلوث المازوت بالمياه :

يساعد المازوت الملوث بالمياه على تآكل المعادن فيؤثر على الخطوط ويعمل على تآكل البلوف والمصافى . يمكن أن يكتسب المازوت الملوث بالمياء خاصية التجلط (objectionable sludge formation) .

4- يفضل عدم شحن وتخزين أنواع مختلفة من المازوت معا فى خزان واحد لمنع تجلطه فالمازوت مستخلص بترولى تختلف خواصه ونسب الشوائب فيه تبعا لمصدره . وخلط أنواع مختلفة منه وتخزينها يعمل على تكوين رواسب أكثر تعقيدا .

5- عدم تخزين المازوت فترات طويلة حتى لوكان من مصدر واحد منعا لإكتسابه خاصية التجلط وتكوين الرواسب.

طرق انتقال الحرارة

تصنف طرق انتقال الحرارة (heat transfer) إلى :

1- الاشعاع (radiation)

تنتقل الحرارة بالاشعاع من نواتج الاحتراق التى تنتجها ولاعات (burners) الاحتراق إلى الأسطح الخارجية لأنابيب المياه أو إلى الأسطح الداخلية لمواسير اللهب (Fire tubes)

2- التوصيل (conduction)

تنتقل الحرارة بالتوصيل خلال سمك أنابيب المياه ومواسير اللهب .

3- الحمل (convection)

تنتقل الحرارة بالحمل من الغازات الساخنة المنصرفة إلى أسطح المواسير أو الأنابيب ومنها خلال سمك الحائط بالتوصيل ومن السطح المقابل إلى المياه بالحمل .

ولزيادة معدلات انتقال الحرارة للغلاية التجارية يجب :

- زيادة مساحة أسطح التسخين للغلاية
- زيادة معامل انتقال الحرارة للغازات المنصرفة وللمياه

(4-2) الوقود (Fuels)

تصنف أنواع الوقود إلى غازى - سائل - صلب .

ويوضح جدول (4-2) العناصر الأساسية المكونة لأنواع الوقود ، وفيما يلى توضيح النوعين الأكثر شيوعا :

أ - الوقود الغازى (Gaseous Fuels)

يمتاز الوقود الغازى بسهولة المعاملة والتحكم ، لا يحتوى تقريبا على رماد ، انخفاض الهواء الزائد المطلوب لعملية الاحتراق ، نظيف ، وفى حالة إستخدام الغاز الطبيعى فإنه لا يحتاج إلى محطات تخزين .

من أنواع الوقود الغازى الشائع الأنتشار الغاز الطبيعى (natural gas) والذى يتواجد فى الصخور المسامية (porous rock) والتشكيلات الصخرية (shale formations) أو فى التجويفات أسفل سطح الأرض .

يتكون الغاز أساسا من الميثين (methane) مع كميات أخرى صغيرة من الهيدروكربونات (hydrocarbons) مثل الايثين (ethane) ، كذلك يحتمل وجود كمية من كبرتيد الهيدروجين (hydrogen sulphide) ، وكميات صغيرة من ثانى أكسيد الكربون (carbon dioxide) والنيتروجين (nitrogen) .

يحتاج الغاز الطبيعى لأنابيب تصل حتى الغلاية ، عند ضغوط معتدلة . يعمل نظام توزيع الغاز عند ضغوط أعلى ثم يقل ضغط الغاز خلال مجموعة متتالية من الصمامات وحتى وصوله إلى الغلاية . تجهز أنابيب الغاز الموجودة عند الغلاية بصمامات تحكم فى سريان الغاز حتى الولاعة ، وصمامات غلق آليه للولاعات .

يمتاز الوقود الغازى بسهولة انتشاره فى الهواء ، لذا يحتاج فقط إلى قليل من التجهيزات وأحيانا قد لا يحتاج إلى أية تجهيزات ، مما يساعد على أن يكون تصميم الولاعه فى غاية البساطة .

ب - الوقود السائل (Liquid Fuels)

مشتقات البترول (petroleum derivatives) هى الوقود السائل المستخدم لتوليد البخار والتى تتكون من خليط من مركبات هيدروكربونات (hydrocarbon) .

يمتاز الوقود السائل بسهولة المعالجة والتحكم فيه ، يحتوى على قليل من الرماد، أيضا

يكون الهواء الزائد اللازم للإحتراق منخفض . ويعتبر مصدرا إحتياطيا جيدا فى حالة استخدام الغاز الطبيعى أو الفحم كوقود أساسى .

يعتبر الوقود السائل رخيصا نسبيا وفى بعض البلدان يكون أرخص من الغاز الطبيعى ومن الفحم (خاصة إذا أحتاج الفحم إلى مصاريف انتقال) . يحتاج الوقود السائل إلى تسهيلات تخزين فى المواقع ومعدات مساعدة مثل طلمبات ، سخانات ....

أحيانا يستخدم البترول الخام والذى لا يخضع لأية معالجة منذ خروجه من البئر ،كوقود سائل. وحيث أنه يحتوى على منتجات متطايرة مثل الجازولين فيجب تخزينه وإستخدامه بحرص .

نحصل على زيت الوقود الثقيل (heavy) أو المتبقى (residual) عند اخضاع البترول الخام لعمليات تكرير جزئية والتى تقطر المركبات الاكثر تطايرا (volatile) مثل الجازولين (gasoline) والكيروسين (kerosene) . وتكون القيمة الحرارية للزيوت الثقيلة حوالى من 42000 إلى 44000 KJ / kg

بينما نحصل على زيت الوقود الخفيف (Light) بمعالجة البترول الخام بعمليات تكسير (cracking) وتقطير (distillation) . وتكون القيمة الحرارية للزيوت الخفيفة حتى 46 000 KJ / kg

ينقسم الوقود السائل إلى خمس درجات والتى يشار إليها بالارقام من 1 إلى 6 (وقد حذف الرقم 3)

جدول (2-4)

العناصر المكونه لبعض أنواع الوقود

النسبة	العناصر المكونة للوقود	نوع الوقود
بالوزن 85.7	كربون	زيت الوقود Fuel oil
10.5	هيدروجين	
2.8	كبريت	
0.92	أكسجين ونيتروجين	
0.08	رماد	
بالحجم 77.73	ميثان	غاز طبيعى Natural gas
5.56	ايثان	
4.21	هيدروكربون	
7.00	كبريتات الهيدروجين	
5.50	ثانى أكسيد الكربون	
بالوزن 9.47	رماد	فحم Coal
77.29	كربون	
4.59	هيدروجين	
5.61	أكسجين	
1.73	نيتروجين	
1.31	كبريت	

وتوصف هذه الزيوت كالآتى :

- زيت رقم 1 (Oil No. 1)

زيت مقطر يستخدم فى ولاعات التبخير من النوع المرجلى - (vaporizing pot type burners) وأيضا الولاعات الأخرى التى تحتاج هذاالنوع من الوقود .

- زيت رقم 2 (Oil No. 2)

يستخدم للأغراض العامة لتسخين المساكن ، وللولاعات التى لا تعمل بالزيت رقم 1

- زيت رقم 4 (Oil No. 4)

يستخدم للولاعات التى لا تحتاج لتسخين تمهيدى .

- زيت رقم 5 (Oil No. 5)

هو زيت من نوع المتبقى (residual type) يستخدم للولاعات التى تكون مجهزة بتسهيلات التسخين التمهيدى.

- زيت رقم 6 (Oil No. 6)

يستخدم للولاعات المجهزة بسخانات تمهيدية وتعمل بوقود ذى كثافة عالية .

يوضح جدول (3-4) خصائص هذه الزيوت ، وفيما يلى التعريفات الموجوده بهذا الجدول

- الثقل النوعى " Specific Gravity, 15.5/15.5 C "

هى النسبة بين كتلة أى حجم من الزيت عند $15.5\ ^0C$ وكتلة نفس الحجم من المياه عند $15.5\ ^0C$

- الثقل API " API Gravity $15.5\ ^0C$ "

منسوبا إلى تدريج متفق عليه بين معهد البترول الأمريكى (American Petroleum Institute) والذى يرمز له بالرموز (API) وهيئات أخرى ويكون مرجعا للصناعات البترولية

وتكون العلاقة بين الثقل النوعى وثقل API كالآتى :

$$\text{Deg. API} = \frac{141.5}{\text{Sp Gr } 15.5 / 15.5\ ^0C}$$

جدول (4-3) خصائص الزيوت المشتقة من البترول

الدرجة	No.1 Fuel Oil	No.2 Fuel Oil	No.4 Fuel Oil	No.5 Fuel Oil	No.6 Fuel Oil
النـــوع	Distillate (Kerosene) (كيروسين)	قطارة الزيت Distillate (سولار)	زيوت خفيفة جدا متبقية Very Light Residual	زيوت خفيفة متبقية Light Residual	الزيوت الثقيلة المتبقية Residual (مازوت)
Color اللون	Ligh فاتح	Amber كهرمانة	BlACK أسود	BlACK أسود	BlACK أسود
API gravity , 15.5 C الثقـل	40	32	21	17	12
Specific gravity , 15.5/15.5 C الثقل النوعى	0.8251	0.8654	0.9279	0.9529	0.9861
Viscos , Centistokes, 38 C, m^2/s اللزوجة	1.16×10^{-6}	2.68×10^{-6}	1.5×10^{-5}	5×10^{-5}	3.6×10^{-4}
Viscos , Saybolt Univ., 38 C	3.1×10^{-5}	3.5×10^{-5}	7.7×10^{-5}	2.32×10^{-4}	1.66×10^{-3}
Viscos , Saybolt Furol, 50 C					1.7×10^{-8}
Pour point , C نقطة الانسياب	Below - 18	Below - 18	- 12	1	18
Temp. for pumping, C درجة حرارة الفتح	Atmospheric	Atmospheric	-10 min	2 min	38
Temp. for atomizing, C درجة حرارة التذرية	Atmospheric	Atmospheric	- 4 min	54	93
Carbon residue, per cent الكربون المتبقى	Trace	Trace	2.5	5	12
Sulfer, per cent الكبريت	0.1	0.4 - 0.7	0.4 - 1.5	2 max	2.8 max
Oxygen and nitrogen, per cent الأكسجين والنيتروجين	0.2	0.2	0.48	0.7	0.92
Hydrogen, per cent الهيدروجين	13.2	12.7	11.9	11.7	10.5
Carbon , per cent الكربون	86.5	86.4	86.1	85.55	85.7
Sediment and water, per cent المياه والزيوت	Trace	Trace	0.5 max	1 max	2 max
Ash, per cent الرماد	Trace	Trace	0.02	0.05	0.08
KJ / litre	32 000	32 700	33 900	34 300	34 800

- لزوجة سايبولت العام (Saybolt universal viscosity)
(viscous., saybolt Univ ., 38 C)
ويدل على لزوجة الزيت أو مقاومة سريان الزيت . ويعبر عنها بالثوانى المأخوذة لمرور 60 ml من الزيت خلال فوهه قياسية عامة وعند درجة الحرارة المعطاة .
- لزوجة سايبولت فيرول (Saybolt Furol Viscosity)
هو الزمن بالثوانى المأخوذ لمرور 60 ml من الزيت خلال فوهة فيرول (Furol orifice) عند درجة الحرارة المعطاه . وتسمح فوهة فيرول بمرور 10 أضعاف ما يمر خلال الفوهة القياسية العامة عند أستخدام الزيوت الثقيلة.
- الكثافة سنتستوك ($Viscous, Centistokes, 38C^0$)
هى النسبة بين الكثافة المطلقة (absolute viscosity) للزيت إلى الثقل النوعى له عند درجة الحرارة المعطاة . والتى تعرف أيضا باللزوجة الكينماتية (kinematic viscosity) .

القيمة الحرارية للوقود

تعرف القيمة الحرارية للوقود بأنها كمية الحرارة الناتجة من إحتراق وحدة الاوزان من الوقود احتراقا كاملا
يوضح جدول (4-4) القيمة الحرارية الناتجة من احتراق بعض العناصر احتراقا كاملا .

جدول (4-4)
القيمة الحرارية الناتجة من احتراق بعض العناصر احتراقا كاملا

العنصر	القيمة الحرارية $\left(\frac{kcal}{kg}\right)$
الكربون (C)	8077
الكبريت (S)	2250
أيدروجين (H_2)	33880
أول أكسيد الكربون (CO)	2433

(4-3) عملية احتراق الوقود

تتم عملية الاحتراق داخل فرن الغلاية ، حيث يتم إتحاد مكونات الوقود مع الأكسجين الموجود فى الهواء الجوى وينتج عن ذلك كمية هائلة من الحرارة والضوء ، عادة تكون مكونات الوقود عبارة عن :كربون ، أيدروجين ، نسبة من الكبريت .

عند تفاعل الوقود مع الأكسجين نحصل على المركبات الآتية :

- أول أكسيد الكربون CO
- ثانى أكسيد الكربون CO_2
- أكاسيد الكبريت SO_2 ، SO_1
- بخار المياه H_2O
- غاز النيتروجين

يتركب الهواء من النيتروجين والأكسجين وبعض الغازات الأخرى بنسب قليلة جدا

بالحجم تكون نسبة النيتروجين 79 % والأكسجين 21 %

بالوزن تكون نسبة النيتروجين 76.8 % والأكسجين 23.2 %

يمكن حدوث الحالتين الآتيتين :

- إذا قلت كمية الأكسجين عن حاجة الوقود :

عندئذ يتكون غازى أول وثانى أكسيد الكربون (CO , CO_2) وحيث أن غاز أول أكسيد الكربون غاز قابل للإحتراق ، فإن ذلك يعنى أن كمية الكربون الموجودة أصلا فى الوقود لم يتم إحتراقها إحتراقا كاملا أى لم تعطى كل الحرارة المفروض أن تؤخذ منها .

- إذا زادت كمية الأكسجين عن حاجة الوقود :

عندئذ يبقى الأكسجين الزائد الداخل مع الهواء دون تفاعل ونحصل علىكمية الحرارة الموجودة بالكربون. ولكن الهواء الزائد يحصل على جزء من الحرارة الناتجة من التفاعل لكى يسخن مما ينتج عنه إنخفاض فى درجة حرارة اللهب ويترتب على ذلك إنخفاض كفاءة عملية الإحتراق .

- عموما يعرف الهواء الزائد (excess air) فى عمليات الإحتراق ، بأنه هواء أكثر من المطلوب نظريا ليعطى التأثير الكامل لضمان عملية الإحتراق الكامل .كذلك يعرف الطلب على الهواء (air requirement) بأنه أقل كمية من الهواء تلزم للحرق الكامل للوقود .

عموما لإمكانية إتحاد العناصر القابلة للإحتراق فى الوقود مع كل الأكسجين اللازم لها يجب توافر ما يلى :

* درجة حرارة عالية بقدر كاف لإشعال جميع المكونات القابلة للإحتراق .
* إضطرابات كافية لضمان إمكانية خلط جميع مكونات الوقود مع الأكسجين .
* زمن كاف لإعطاء الفرصة لإكتمال الإحتراق .

الهواء الزائد excess air

يوجد مستوى مثالى لكمية الهواء الزائد اللازم للتشغيل تبعا لطراز تصميم الفرن ونوع الوقود .لإتمام عملية الإحتراق الكاملة للوقود فإنه يتم حقن الغلاية بكمية الهواء الكافى ، لأن أى كمية أكبر من ذلك تزيد درجة الحرارة المطرودة إلى المدخنة ، الناتجة من إحتراق وقود أكثر لإعطاء ناتج لعملية الإحتراق .

يوضح جدول (4-5) الكميات الكيميائية الرياضية للهواء اللازمة للإحتراق للأنواع المختلفة الشائعة من الوقود عند كميات محددة من الحرارة المنطلقة بوحدات (lb / BTU) ، (kg / k cal) ، (kg / kJ)

ويوضح جدول (3-6) المستويات المثالية للهواء الزائد التى تحقق أقصى كفاءة تشغيل نحصل على أقصى كمية حرارة ممكنة وأعلى درجة حرارة لهب إذا أستخدمنا كمية الأكسجين الكافية لاحتراق جميع جزيئات الوقود احتراقا كاملا ، وعندئذ تعرف كمية الهواء الكافية للحصول على احتراق كامل بإسم " كمية الهواء النظرية " وتعرف النسبة بين كمية الهواء المستخدمة فعلا إلى كمية الهواء النظرية بمعامل زيادة الهواء ويرمز له بالرمز λ

ويصنف وسط الاحتراق المكون من هواء ووقود تبعا لقيمة λ كما فى جدول رقم (4-7) كذلك يمكن حساب الهواء الزائد على أساس نسبة ثانى أكسيد الكربون (CO_2) أو على أساس نسبة الاكسجين المقاسة فى غاز العادم كالأتى :

$$\text{(الهواء الزائد)}\ \% = [\{(CO_2)_{max} / CO_2\} - 1] \times 100$$

$$\text{or}\quad \text{(الهواء الزائد)}\ \% = [O_2 / (21 - O_2)] \times 100$$

نحصل على $(CO_2)_{max}$ من جدول (4-15)

ويوضح شكل (4-4)العلاقة بين الهواء الزائد (والناقص) و CO & CO2 فىغازات العادم

جدول(4-5)

الكميات الكيميائية الرياضية (الستويكيومترية) للهواء اللازم للإحتراق للأنواع المختلفة الشائعة من الوقود

نــوع الــوقـــود	الهــواء المطلــوب		
	باوند/10000 و.ح.ب (lb/10,000 Btu)	كجم/10000 كيلو كالورى (kg/10,000 Kcal)	كجم/10000 كيلو جول (kg/10000 KJ)
انثراثيت (بنسلفانيا)	6.87	12.37	2.96
فحم بيتومينى (متوسط المواد الطيارة)	7.77	13.99	3.34
فحم تحت البيتومينى	6.56	13.61	3.25
ليجنيت (تكساس)	7.52	13.54	3.23
كوك درجات الحرارة المرتفعة	7.96	14.33	3.42
كـوك بترولـــى	7.73	13.91	3.32
أخشاب صلبـــة	7.15	12.87	3.07
أخشاب لينـــة	7.11	12.80	3.06
باجاز (مصاصة القصب)	6.59	11.86	2.83
نفتا (60 درجة API)	7.46	13.43	3.21
كيروسين (45 درجة API)	7.42	13.36	3.19
زيت الغاز gas oil (30 درجة API)	7.45	13.41	3.20
الوقود السائل fuel oil (15 درجة API)	7.58	13.64	3.26
غاز طبيعة (ميثان)	7.20	12.96	3.10
بروبـــان propane	7.24	13.03	3.11
بيوتـــان butane	7.26	13.07	3.12
غــاز الأفران العالية	5.85	10.48	2.50
غــاز أفران الكـوك	6.80	12.24	2.92

البيانات المدرجة فى الجدول معطاة على أساس القيمة الحرارية العليا للوقود

و . ح . ب الوحدة الحرارية البريطانية

جدول (6-4)

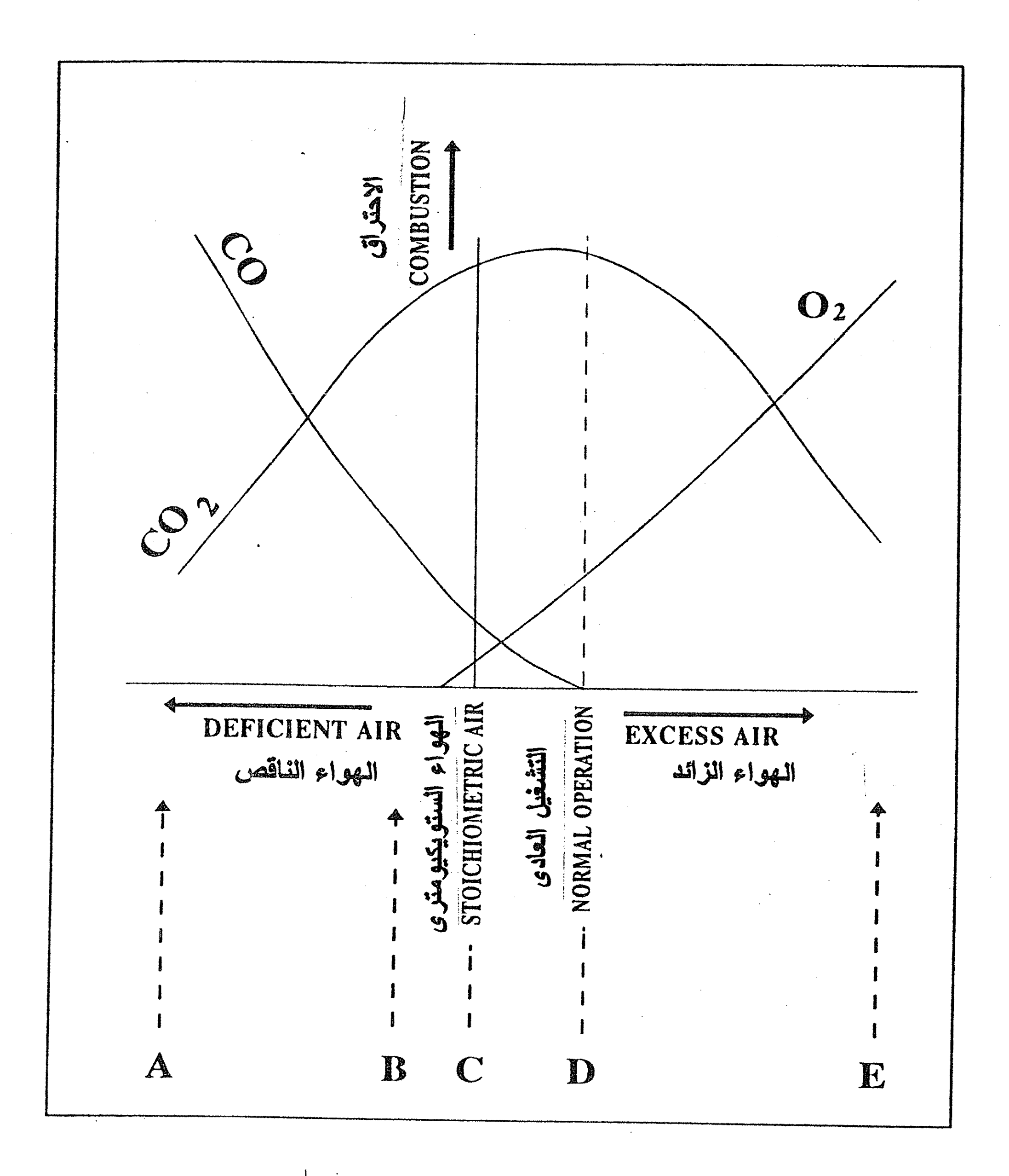
المستويات المثالية للهواء الزائد

الأكسجين المكافىء O_2 (حجم)	نسبة الهواء الزائد المثالى (بالوزن) %	طريقة الإحتراق	نوع الوقود
1 - 2	5 - 10	—	الغاز الطبيعى (Natural gas)
1 - 2	5 - 10	—	بـروبيـن (Propane)
1 - 2	5 - 10	—	غاز فرن الكوك (Coke oven gas)
2 - 3	10 - 15	steam - atomized بخار مذرى	زيت رقم 2 (Oil 2)
2 - 3	10 - 15	steam - atomized بخار مذرى	زيت رقم 6 (Oil 6)
3 - 3.5	15 - 20	Pulverized مسحوق	Coal فحـــم
3.5 - 5	20 - 30	Stoker زود بالوقود	Coal فحـــم

جدول (7-4)

أنواع وسط الاحتراق

نوع الوسط	معامل زيادة الهواء λ	الوصف
متعادل	λ = ١	تكون كمية الأكسجين فى هذا الوسط كافية للاحتراق الكامل دون أية زيادة أو نقصان .
مؤكسد	λ > ١	تكون كمية الأكسجين فى هذا الوسط زائدة عن الحاجة لاتمام الاحتراق -وتستخدم عادة للمساعدة على اتمام عملية الاحتراق . وينتج عن ذلك : ١- انخفاض درجة حرارة اللهب . ٢- فقد جزء من الحرارة (استخدمت لتسخين الهواء الزائد عن الحاجة)
مختزل	λ < ١	تكون كمية الأكسجين فى هذا الوسط ، أقل عن الحاجة لاتمام الاحتراق ، وينتج عن ذلك : ١- انخفاض درجة حرارة اللهب . ٢- فقد جزء من الحرارة .



شكل (4-4) العلاقة بين الهواء الزائد و CO & CO2 فى

أحتراق الوقود السائل (Combustion of oil)

يتم احتراق الوقود السائل تبعا للخطوات الأتية :

1- بعملية التذرية ، يفتت الوقود السائل إلى جزيئات دائرية صغيرة متعددة تشكل على هيئة بخار .

2- الحرارة الشديدة فى منطقة الأحتراق ، تسخن البخار إلى نقطة الأشعال (ignition point) ، عندئذ يخلط بالأكسجين لمساعدة الأحتراق .

3- البخار والكربون المتبقى يستمر فى الأحتراق مؤديا إلى تقليل حجم الجزيئات والتى تتحرك بعيدا عن الولاعة.

4- يجب أن يحترق جميع الوقود فى منطقة الأحتراق للتأكد من نظافة العادم وعدم مروره إلى الغلاية .

يوضح شكل (4-5) هذه الخطوات

ولكى يكون الأحتراق كاملا يجب مراعاة الأتى :

أ - تبخر الوقود السائل وتفتيته وتحوله إلى جزيئات صغيرة جدا تشكل على هيئة رذاذ لسهولة خلطه بالهواء .

ب - رفع درجة حرارة جزيئات الوقود إلى درجة حرارة اشتعاله الذاتى أو أعلى منها

عموما توزع الحرارة الناتجة عن أحتراق الوقود كالآتى :

- جزء يستخدم لتوليد البخار من مياه الغلاية .
- باقى الحرارة تفقد فى الأجزاء المختلفة المكونة للغلاية .

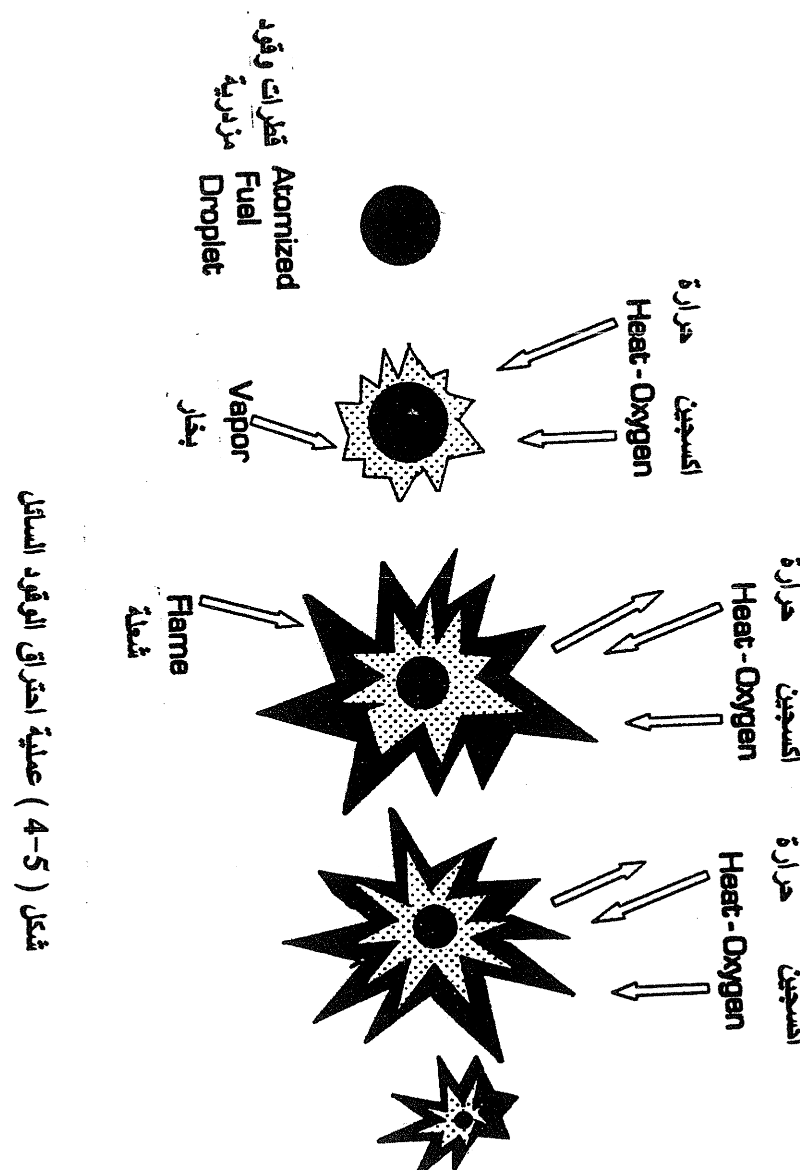
وفيما يلى تصنيف الحرارة المفقودة فى أجزاء الغلاية :

1- جزء من الحرارة يفقد فى غازات العادم والذى يتراوح بين 8 إلى % 40 ويمكن الحصول عليه من جدول (4-8)

وعند أحتراق الوقود السائل إحتراقا كاملا فإن نسبة وجود غاز ثانى أكسيد الكربون CO_2 (بالوزن) فى غازات العادم تكون حوالى % 19.2

2- جزء من الحرارة يفقد نتيجة عدم أتمام عملية الأحتراق وتواجد غاز أول أكسيد الكربون CO الذى لم يحترق ويتحول إلى CO_2 فى غازات العادم .

وتتراوح نسبة هذا الفقد بين % 1 إلى % 4



شكل (5-4) عملية احتراق الوقود السائل

3- جزء من الحرارة يفقد نتيجة عدم أتمام عملية أحتراق الكربون الموجود فى الوقـود .
عندئذ يلاحظ وجود الكربون فى نواتج الأحتراق فى غازات العادم .
وتتراوح نسبة هذا الفقد بين % 1 إلى % 4 عند أستخدام الفحم مثلا .
4- جزء من الحرارة يفقد نتيجة خاصية الأشعاع الحرارى من جسم الغلاية إلى الهواء المحيط ، والذى يعتمد على كفاءة العزل الحرارى للغلاية .
ويكون الفقد كالأتى :
- يتراوح بين % 1 إلى % 2 للعزل الحرارى الجيد .
- حوالى % 10 للأسطح غير المعزولة .
5- جزء من الحـرارة يفقـد نتيجـة استخدام الحـرارة لتبخـير الميـاه الناتجـة مـن أحتراق الأيدروجين (H_2) الموجود فى الوقود . وتتراوح نسبة هذا الفقد بين % 4 إلى % 8
ويمكن الحصول على نسبة الفقد بمعرفـة درجـة حـرارة غـازات العـادم وبأسـتخـدام جـدول (4-9)
6- جزء من الحـرارة يفقـد عنـد أستخدامه فـى تبخير الميـاه أو الرطوبـة الموجـودة فـى الوقود . ونسبة هذا الفقد حوالى % 0.15
7- جزء من الحرارة يفقد عند أستخدامه فى تبخير المياه الموجودة فى الهواء المسـتخدم فى عملية الأحتراق . ونسبة هذا الفقد حوالى % 0.3
ويوضح جدول (10-4) ملخص لأنواع وأسباب الفقد الحرارى فى الغلايات

جدول (4-8)

نسبة الفقد الحرارى فى غازات العادم للوقود السائل

درجة حرارة غازات العادم (F^0)			نسبة ثانى أكسيد الكربون CO_2 %
800	600	400	
77.5	58.1	38.8	3
37.8	28.4	18.9	6
25.9	19.4	12.9	9
19.6	14.7	9.8	12

جدول (4-9)

نسبة الفقد الحرارى فى تبخر المياه الناتجة من أحتراق الأيدروجين (H_2)

800	600	400	درجة حرارة غازات العادم (F^0)
7.4	6.9	6.5	نسبة الفقد فى تبخر المياه الناتجة من أحتراق H_2

جدول (4-10)
ملخص لأسباب الفقد الحرارى فى الغلايات

الفقد فى غازات العادم		الفقد نتيجة تبخر المياه أو الرطوبة الموجودة فى الوقود		الفقد نتيجة عدم الاحتراق الكامل	
النــوع	الســبب	النــوع	الســبب	النــوع	الســبب
- زيادة كمية الهواء عن حاجة الاحتراق	- نقص نسب CO_2 فى غـازات العادم - وجـود O_2 فى غازات العادم	- وجود بخار أو قطرات مياه فى الوقود الصلب	- تعرض الوقود الصلب إلى المطر أو رطوبة الجو أثناء نقله أو تخزينه .	- عدم الاحتراق الكامل	- الاشتعال غير نظيف - نقص كمية الهواء - السحب غير الكافى لمرواح الهواء - صغر غرف الاحتراق - عدم الخلط الجيد بين الوقود والهواء - انخفاض درجة حرارة غرفة الاحتراق - عـدم الوصـول إلـى درجـة حـرارة الاشتعال - وجود شوائب بالوقود
- زيادة درجة حرارة غازات العادم	- عدم كفاءة عملية انتقال الحرارة فى الغلاية وملحقاتها - وجـــود رواســب علــى سطـــح المواسير				

القيم الحرارية العليا والدنيا Higher and lower heating values

يعتمد تحديد سعر الوقود على القيم الحرارية لأنواع الوقود المختلفة . وتعرف القيمة الحرارية (heating value) { أو حرارة الإحتراق heating of combustion ، أو القيمة السعرية calorific value } بعدد وحدات الطاقة فى كل وحدة من وحدات قياس الكتلة أو الحجم ، ويوجد نوعين من القيمة الحرارية هما :

- القيمة الحرارية العليا ، (والتى يطلق عليها أيضا القيمة الحرارية الإجمالية gross heating value والتى تحسب بإضافة الحرارة الكامنة لتبخر المياه Latent heat of vaporization الموجودة ضمن نواتج عملية الإحتراق ، وعدم حذفها وذلك على أساس تكثف البخار إلى مياه مرة أخرى .

- القيمة الحرارية الدنيا ، (والتى يطلق عليها أيضا القيمة الحرارية النهائية net heating value) وهى تساوى القيمة الحرارية العليا مطروحا منها كمية الحرارة الكامنة لتبخر المياه المشتمل عليها نواتج عملية الإحتراق .

فى ألمانيا ، تستخدم القيمة الحرارية الدنيا لحسابات كفاءة الإحتراق الداخلى للآلات .

وفى الولايات المتحدة الأمريكية عرفت القيمة الحرارية العليا فى المواصفات القياسية العالمية ASME Power Test Codes

عموما تستخدم القيمة الحرارية الدنيا للوقود لأن أغلب عمليات الإحتراق لا ينتج عنها إعادة تكثف بخار المياه ، بالإضافة إلى أنها تمثل مقياسا أكثر دقه لكمية الطاقة المستفادة من الوقود .

ويوضح جدول (4-11) النسبة بين القيمة الحرارية الدنيا والقيمة الحرارية العليا للغاز الطبيعى ، الوقود السائل والفحم.

يوضح جدول (4-12) القيم الحرارية العليا والدنيا لأنواع الوقود المختلفة .

بينما يوضح جدول (4-13) العلاقة الرياضية بين القيمة الحرارية العليا والقيمة الحرارية الدنيا للوقود .

جدول (4-11)

النسبة بين القيمةالحرارية الدنيا والقيمة الحرارية العليا لبعض أنواع الوقود

نـــوع الــوقـــود	(القيمة الحرارية الدنيا / القيمة الحرارية العليا)
الغاز الطبيعى (natural gas)	0.90
الوقود السائل (fuel oil)	0.94
الفحم (coal)	0.98

جدول (4-12)
القيم الحرارية العليا والدنيا لأنواع الوقود المختلفة

Fuel نـوع الـوقـود	الرمز الكيميائى Chemical symbol	القيمة الحرارية العليا High heat value, Btu		القيمة الحرارية الدنيا Low heat value, Btu	
		Per lb	Per cu ft*	Per lb	Per cu ft*
Carbon to CO_2	C	14096	....	....	....
Carbon to CO	C	3960	....	....	....
CO to CO_2	CO	4346	316	....	....
Sulphur to SO_2	S	3984	....	....	....
Hydrogen	H_2	61031	319.4	51593	270
Methane	CH_4	23890	994.7	21518	896
Ethane	C_2H_6	22329	1742.6	20 431	1594.5
Propane	C_3H_8	21670	2480.1	19944	2282.6
Butane	C_4H_{10}	21316	3215.6	19679	2968.7
Pentane	C_5H_{12}	21095	3950.2	19513	3654
Hexane (liquid)	C_6H_{14}	20675	....	19130	....
Octane (liquid)	C_8H_{18}	20529	....	19029	....
n-Decane (liquid)	$C_{10}H_{22}$	20371	....	19175	....
Ethylene	C_2H_4	21646	1576.1	20 276	1477.4
Propene (propylene)	C_3H_6	21053	2299.4	19683	2151.3
Acetylene (ethyne)	C_2H_2	21477	1451.4	20734	1402
Benzene	C_6H_6	18188	3687.5	17446	3539.3
Toluene (methyl benzene)	C_7H_8	18441	4410.1	17601	4212.6
Methanol (methyl alcohol,liquid) ...	CH_4O	9758	....	7658	....
Ethanol (ethyl alcohol, liquid)	C_2H_6O	12770	....	9620	....
Naphthalene (solid)	$C_{10}H_8$	17310	....	13110	....

Measured as a gas at 68 F and 14.70 P_{sia} . Multiply by 1.0154 for 60 F and 14.70 P_{sia}

جدول (4-13)

العلاقة بين القيمة الحرارة العليا والقيمة الحرارية الدنيا للوقود

باستخدام وحدات كيلو جول	باستخدام وحدات كيلو كلر
$Q_H = Q_L + 2418\ W$	$Q_H = Q_L + 578\ W$
Q_H بوحدات كيلو جول / كجم	Q_H بوحدات كيلو كلر / كجم
Q_L بوحدات كيلو جول / كجم	Q_L بوحدات كيلو كلر / كجم
W بوحدات كجم / كجم	W بوحدات كجم / كجم
2418 الحرارة الكامنة لتبخير المياه	578 الحرارة الكامنة لتبخير المياه
بوحدات كيلوجول / كجم مياه	بوحدات كيلوكلر / كجم مياه

حيث :

Q_H = القيمة الحرارية العليا للوقود

Q_L = القيمة الحرارية الدنيا للوقود

W = كتلة المياه المتكونة لوحدة الكتلة من الوقود المحترق

حساب مفقودات العادم (Flue gas losses)

يتم حساب مفقودات العادم تبعا لنوع الوقود المستخدم ، بدلالة المتغيرات الآتية :

1- درجة حرارة غاز العادم T_{fg} (Flue gas temperature) .

2- المحتوى من الأكسجين بالحجم ، على أساس التحليل الجاف (%Dry flue products by volume)

3- درجة حرارة الوسط المحيط T_a

4- نوع الوقود المحترق .

يتم معرفة مفقودات العادم ومحتوى ثانى أكسيد الكربون فى غاز العادم بإستخدام المنحنيات بالأشكال الآتية :

* شكل (4-6) يستخدم لأنواع الوقود السائل المتوسط والخفيف .
* شكل (4-7) يستخدم للوقود السائل الثقيل (المازوت) .
* شكل (4-8) يستخدم للغاز الطبيعى .

هذه المنحنيات محسوبة على أساس القيمة الحرارية السعرية الإجمالية ودرجة الحرارة المحيطة $20\,^0C$ ، لذا يجب تصحيح درجة حرارة غاز العادم إذا تغيرت درجة الحرارة المحيطة تبعا للمعادلة الآتية :

$$T_{fg} = T'_{fg} - \left[T_a - 20\right]$$

حيث :

T'_{fg} = درجة حرارة غاز العادم عند درجة الحرارة المحيطة T_a

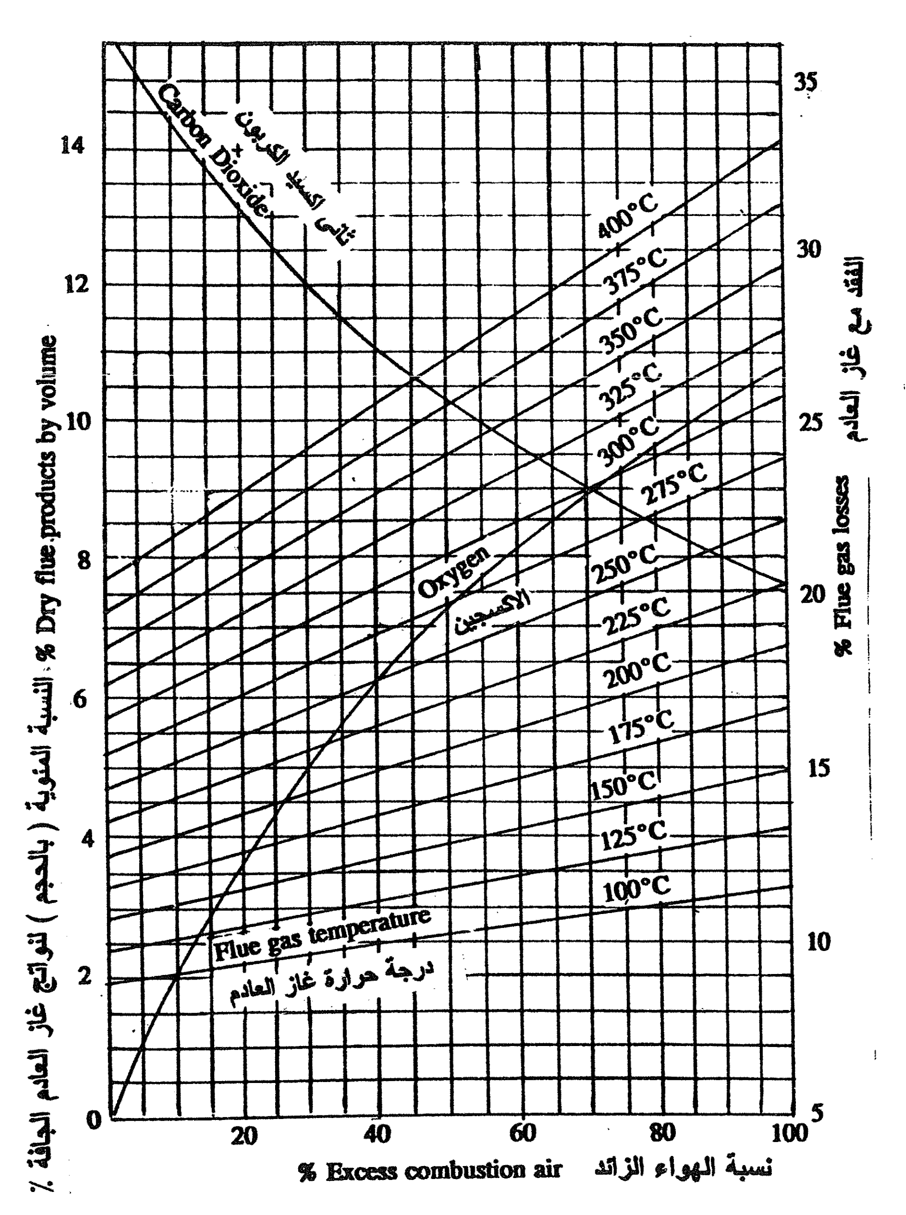
T_{fg} = درجة حرارة غاز العادم عند درجة الحرارة المحيطة $20\,^0C$

مثال :

احسب مفقودات العادم ومحتوى ثانى أكسيد الكربون بغاز العادم وكفاءة الأحتراق التقريبية إذا توافرت البيانات الآتية :

نوع وقود الأحتراق : المازوت (وقود سائل ثقيل)

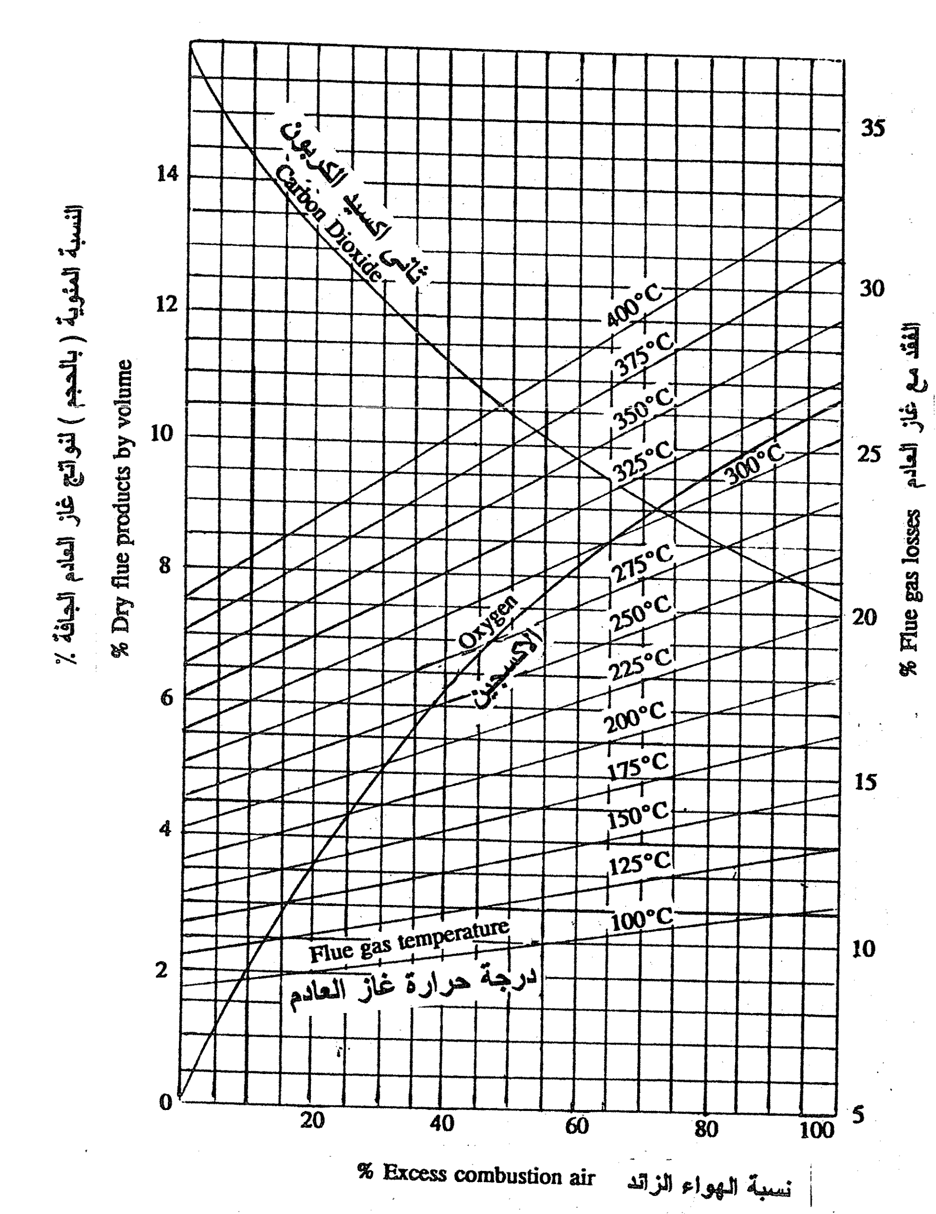
درجة حرارة غاز العادم : $285\,^0C$



شكل (6-4) انواع الوقود السائل المتوسط والخفيف

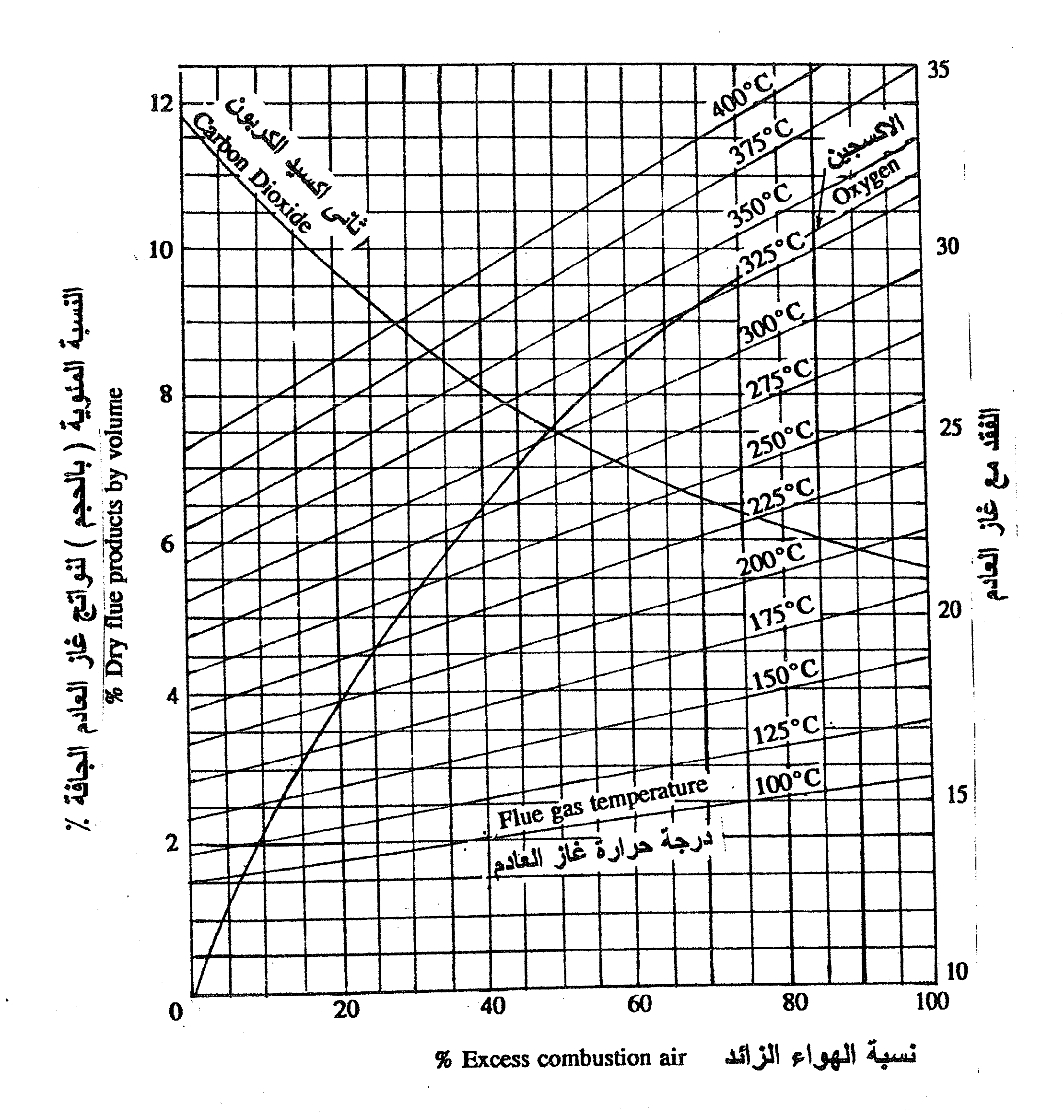
مفقودات غاز العادم وكمية الهواء الزائد المحسوبة على اساس القيمة الحرارية السعرية الاجمالية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية للجو المحيط

(ادارة طلب الطاقة -١)



شكل (4-7) الوقود السائل الثقيل (المازوت)

مفقودات غاز العادم وكمية الهواء الزائد المحسوبة على اساس القيمة الحرارية السعرية الاجمالية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية للجو المحيط



شكل (8-4) الغاز الطبيعى

مفقودات غاز العادم وكمية الهواء الزائد المحسوبة على اساس القيمة الحرارية السعرية الاجمالية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية للجو المحيط

درجة حرارة الوسط المحيط : $30\ ^0C$

المحتوى من الأكسجين : % 4 بالحجم على أساس التحليل الجاف

مجموع الفقد بالأشعاع وبالكسح : % 6

الحـــل

يتم أولا تصحيح درجة حرارة غاز العادم (T_{fg}) من المعادلة

$$T_{fg} = T'_{fg} - [T_a - 20]$$
$$T'_{fg} = 285\ C^0$$
$$T_a = 30\ C^0$$
$$\therefore T_{fg} = 285 - [30 - 20] = 275\ C^0$$

حيث أن الوقود المستخدم هو المازوت فاننا تستخدم شكل (7-4) للحصول علـى مفقـودات العادم ومحتوى ثانى أكسيد الكربون بغاز العادم .

شكل (9-4) صورة من شكل (7-4) نستخدم لحل هذا المثال كالآتى :

1- عنـد نسـبة أكسـجين % 4 علـى المحـور الرأسـى نتحـرك حتـى تلاقـى خـط منحنـى الأكسجين ثم نتحرك رأسيا إلى أسفل لنحصل على نسبة الهواء الزائد .

نسبة الهواء الزائد = % 22

2- عند نسبة الهواء الزائد % 22 نتحرك رأسيا إلى أعلى حتى تلاقى خـط منحنىدرجـة حرارة غاز العادم $275\ ^0C$ ثم نتحرك أفقيا للحصول على :

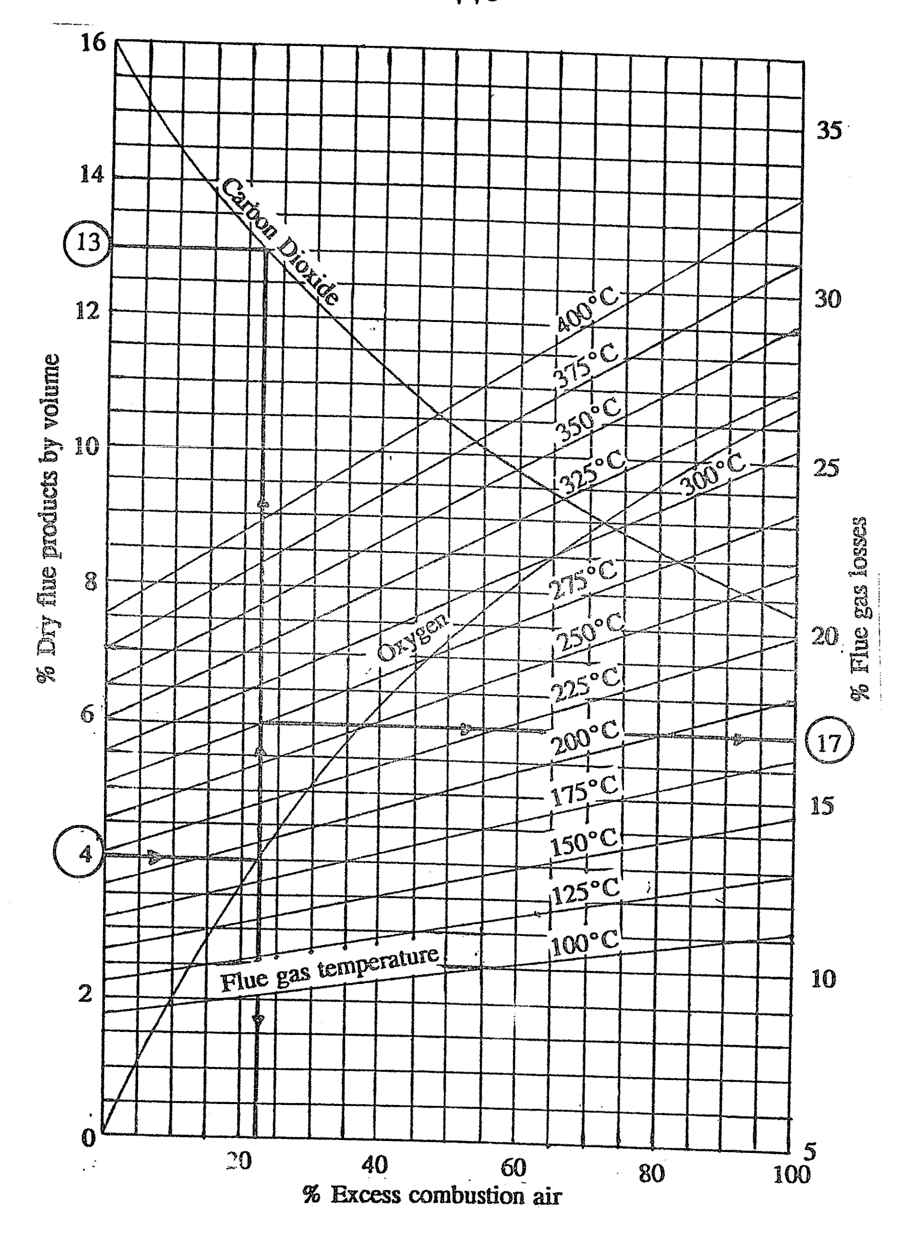
النسبة المئوية للفقد مع غاز العادم = % 17

3- للحصول على محتوى ثانى أكسيد الكربون بغاز العادم ، فاننا عند نسبة الهواء الزائد % 22 نتحرك رأسيا إلى أعلى حتى تلاقى خط منحنى ثانى أكسيد الكربون ثم نتحرك أفقيا للحصول على :

محتوى ثانى أكسيد الكربون بغاز العادم = % 13

4- كفاءة الأحتراق الكلية = الحرارة المتاحة الكلية - الفقد فى غاز العادم

= 100 - 17 = % 83



شكل (9-4) مثال لحساب المفقودات عند استخدام الوقود السائل الثقيل (المازوت)

حساب كفاءة الأحتراق(combustion efficiency) للغلاية أو الفرن

يجب توافر بيانات أساسية قبل إجراء حسابات كفاءة الأحتراق والتى تعتمد على نوع الوقود المستخدم .

يوضح جدول (4-14) هذه البيانات .

بعض هذه البيانات تكون متوافرة من جداول أو منحنيات وبعضها نحصل عليها بالقياسات أو من مورد الوقود .

فمثلا يوضح جدول (4-15) القيم النموذجية لمحتوى الهيدروجين والمياه لبعض أنواع الوقود بالأضافة إلى القيمة القصوى النظرية لثانى أكسيد الكربون الموجود فى غاز العادم وتكون المعادلة العامة لكفاءة الأحتراق

$$\%E = 100 - \Sigma \text{ Losses}$$

$$\%E = 100 - \left[L_{FA} + L_{SA} + L'_{FA} + L'_{SA} + L_{DG} + L_{H_2O} + L_{CO}\right]$$

يعرف جدول (4-16) جميع أنواع المفقودات والمعادلات المستخدمة لحسابها حيث :

L_{AF} = الفقد الناتج من المكونات القابلة للأحتراق فى الرماد المتطاير

L_{SA} = الفقد فى صورة مكونات قابلة للأحتراق فى خبث الرماد

L'_{AF} = الفقد فى صورة حرارة محسوسة مع الرماد المتطاير

L'_{SA} = الفقد فى صورة حرارة محسوسة فى خبث الرماد

L_{DG} = الفقد فى غاز العادم الجاف

L_{H_2O} = فقد الرطوبة فى غاز العادم

L_{CO} = الفقد الناتج من أول أكسيد الكربون غير المحترق

جدول (4-14) البيانات الأساسية اللازمة عند حساب كفاءة الاحتراق

خصائص عامة للوقود		خصائص الوقود الصلب (solid fuel)		خصائص الوقود السائل (oil fuel)		خصائص غاز العادم (fuel gas)	
الخاصية	الوحدة	الخاصية	الوحدة	الخاصية	الوحدة	الخاصية	الوحدة
1 القيمة الحرارية الاجمالية	كيلو كلر / كجم	4- الرماد فى الوقود	٪ بالوزن (عند الاحتراق)	9- درجة حرارة التسخين التمهيدى (preheating) للوقــود	درجة مئوية	10- درجة حرارة الغاز	درجة مئوية
2- الهيدروجين فى الوقود	٪ بالوزن	5- نسبة الرماد المتطاير (Fly ash)	٪ بالوزن			11- درجة حرارة الوسط المحيط	درجة مئويه
3- المياه فى الوقود	٪ بالوزن					12- المحتوى من الأكسجين	بالحجم (جاف)
		6- المكونات القابلة للاحتراق فى الرماد المتطاير	٪ بالوزن				
		7- المكونات القابلة للاحتراق فى خبث الرماد	٪ بالوزن				
		8- درجة حرارة خروج خبث الرماد	درجة مئوية				

جدول (4-15) القيم النموذجية لمحتوى الهيدروجين والمياه والقيمة القصوى النظرية لثانى أكسيد الكربون الموجود فى غاز العادم

نـــوع الـــوقـــود	النسبة بين القيمة السعرية النهائية والقيمة السعرية الاجمالية	النسبة المئوية الوزنية للهيدروجين (٪ بالوزن)	النسبة المئوية الوزنية للمياه (٪ بالوزن)	الحد الأقصى النظرى لثانى أكسيد الكربون فى غاز العادم الجاف (٪ بالحجم) $(CO_2)_{max}$*
الميثـــان	0.90	25	-	11.7
البروبـــان	0.92	18.2	-	17.7
البيوتـــان	0.92	17.2	-	14
الهيكسـان	0.93	16.3	-	-
الجازولين (البنزين)	0.93	14.4	-	14.9
الكيروسين	0.93	13.6	-	15.1
وقود الديزل	0.94	12.8	-	15.5
الوقود السائل الخفيف	0.94	12.4	-	-
وقود الأفران (المازوت)	0.94	11.8	-	15.9
قطـران الفحـم	0.97	6.2	-	-
فحم الانثراثيت	0.98	3	1	20
الفحم شبه البيتومينى	0.97	4.4	1	-
الفحـم البيتومينى	0.96	5.5	7	18.5
فحـم الليجنيت	0.94	5.7	15	19.2
فحـم الخـث (البيت)	0.91	6.4	20	-
الخشـب	0.9	6.8	15	19.9
فحـم الكـوك	0.99	1.1	2	20.7

* بفرض حدوث احتراق ستويكيومترى عند نسبة هواء زائد مساوية للصفر

جدول (4-16)

جميع أنواع المفقودات والمعادلات المستخدمة لحسابها

الفقد (٪)	المعادلة	تعريف الرموز المستخدمة
1- الفقد من المكونات القابلة للاحتراق فى الرماد المتطاير (L_{FA})	$L_{FA} = \frac{A_{fuel} \cdot F_{FA} \cdot C_{FA} (8083)(100)}{(1-C_{FA}) \cdot CV_G}$	A_{fuel} = النسبة الوزنية للرماد فى الوقود (بحالة الحريق) F_{FA}= النسبة الوزنية للرماد المتطاير إلى الرماد الكلى C_{FA} = النسبة الوزنية للمكونات القابلة للاحتراق فى الرماد المتطاير C_{VG} = القيم السعرية الاجمالية (كيلوكلر/كجم) للوقود فى حالة الحريق
2- الفقد فى صورة مكونات قابلة للاحتراق فى خبث الرماد (L_{SA})	$L_{SA} = \frac{A_{fuel} \cdot F_{SA} \cdot C_{SA} (8083)(100)}{(1-C_{SA}) \cdot CV_G}$	F_{SA} = النسبة الوزنية لخبث الرماد إلى الرماد الكلى C_{SA} = النسبة الوزنية للمكونات القابلة للاحتراق فى الرماد المتطاير
3- الفقد فى صورة حرارة محسوسة مع الرماد المتطاير ($\grave{L}_{FA}$)	$\grave{L}_{FA} = \frac{A_{fuel} \cdot F_{FA} \cdot (T_{FG} - T_A)(0.21)(100)}{(1-C_{FA}) \cdot CV_G}$	T_{FG} = درجة حرارة غاز العادم (م^0) T_A = درجة حرارة الوسط المحيط (م^0) (0.21) = الحرارة النوعية المتوسطة للرماد المتطاير (كيلوكلر / كجم م^0)
4- الفقد فى صورة حرارة محسوسة فى خبث الرماد ($\grave{L}_{SA}$)	$\grave{L}_{SA} = \frac{A_{fuel} \cdot F_{SA} \cdot (T_{SA} - T_A)(0.21)(100)}{(1-C_{SA}) \cdot CV_G}$	T_{SA} = درجة حرارة خبث الرماد عند المخرج (م^0)

تابع جدول (4-16)

الفقـد (٪)	المعــادلــة	تعريف الرموز المستخدمة
5 - الفقد فى غاز العادم الجاف (L_{DG})	$$L_{DG}=\frac{K(T_{FG}-T_A)\cdot\{1-(L_{FA}+L_{SA})/100\}}{(CO_2)}$$ حيث : $$(CO_2)=\left[1-\frac{O_2}{21}\right]\cdot(CO_2)_{max}$$ $$K=\frac{69.7\ C_{Fuel}\ (CV_N)^2}{(CV_G)^3}$$	CO_2 = النسبة المئوية الحجمية لثانى أكسيد الكربون O_2 = النسبة المئوية الحجمية للأكسجين فى غاز المصرف الجاف $(CO_2)_{max}$ = النسبة المئوية النظرية لثانى أكسيد الكربون فى غاز المصرف الجاف C_{Fuel} = النسبة الوزنية للكربون فى الوقـود CV_N= القيمة السعرية النهائية (كيلو كلر / كجم) للوقود فى حالة الاحتراق K = ثابت يمكن حسابه من المعادلة أو من جدول (4-17)
6 - فقد الرطوبة فى غاز العادم (L_{H2O})	$$L_{H_2O}=\frac{\left[(H_2O)_{Fuel}+9H_{Fuel}\right]\cdot\left[588-T_a+0.5T_{FG}\right]}{CV_G^1}$$ فى حالتى الوقود الصلب والغازى تكون $CV_G=CV_G^1$ أما فى حالة المازوت الساخن فإن $CV_G^1=CV_G+\left[T_{Fuel}-T_A\right](0.47)$	$(H_2O)_{Fuel}$= النسبة المئوية الوزنية للمياه فى الوقود (فى حالة الحريق) H_{Fuel}= النسبة المئوية الوزنية للهيدروجين فى الوقود من جدول (4-15) T_{Fuel}= درجة حرارة التسخين التمهيدى للوقود السائل (م^0) (0.47)= الحرارة النوعية المتوسطة للوقود السائل (كيلو كلر / كجم م^0) (588) = الحرارة الكامنة للتبخر للمياه (H2O) عند الضغط الجوى (كيلو كلر/كجم)
7- الفقد الناتـج مـن أول أكسيد الكـربـون غير المحترق(L_{CO})	$$L_{CO}=\frac{B\,(CO)\cdot\left[1-(L_{FA}+L_{SA})/100\right]}{(CO)+(CO_2)}$$	(CO)= النسبة المئوية الحجمية لأول أكسيد الكربون فى غاز العادم الجاف B = ثابت خاص بحرارة التفاعل التى تنتج عن احتراق CO إلى CO_2 ونحصل عليها من جدول (4-17)

جدول (4-17) قيم الثابت K (المستخدم لحساب الفقد فى غاز العادم الجاف)
والثابت B (الخاص بالفقد فى صورة أول أكسيد الكربون CO)

نـوع الـوقـود	الثابت (K)		الثابت
	فى حالة اتخاذ القيمة السعرية النهائية Net cv	فى حالة اتخاذ القيمة السعرية الاجمالية Cross cv	B
فحـم الكـوك (coke)	0.70	0.69	70
فحـم الانثراثيت (anthracite)	0.68	0.67	65
الفحـم البيتوميني (bituminous coal)	0.63	0.60	63
قطـران الفحـم (coal tar)	0.60	0.58	62
الوقود البترولى السائل (liquid petroleum fuels)	0.56	0.53	48
الغاز الطبيعى (natural gas)	0.38	0.34	32

يوضح شكل (4-10) العلاقة بين النسبة المئوية للهواء الزائد ومكونات غاز العادم من الأكسجين O_2 وثانى أكسيد الكربون CO_2 للوقود السائل والغازى والصلب .
ويوضح شكل (4-11) العلاقة بين التغير فى كفاءة الأحتراق وتغير درجة حرارة غاز العادم عند قيم مختلفة للهواء الزائد .
ويبين شكل (4-12) العلاقة بين التحسن الحادث فى كفاءة الأحتراق نتيجة التسخين التمهيدى (preheating) لهواء الأحتراق بأستخدام غاز العادم .

جداول كفاءة الاحتراق (Combustion Efficiency Tables)

تستخدم جداول كفاءة الاحتراق تبعا لنوع الوقود بدلالة العوامل الآتية :

- نسبة الهواء الزائد (excess air)
- نسبة O_2
- نسبة CO_2
- درجة حرارة غاز العادم (Flue gas temperature)
- درجة حرارة هواء الاحتراق (combustion air temperature)
  (أو درجة حرارة الهواء المحيط)

ونحصل منها على كفاءة الاحتراق مباشرة

يوضح جدول (4-18) خصائص بعض أنواع الوقود

يوضح جدول (4-19) كفاءة احتراق الغاز الطبيعى

ويوضح جدول (4-20)كفاءة احتراق زيت الوقود رقم 2

ويوضح جدول(4-21) كفاءة احتراق زيت الوقود رقم 6

ويوضح جدول (4-22) كفاءة احتراق الفحم

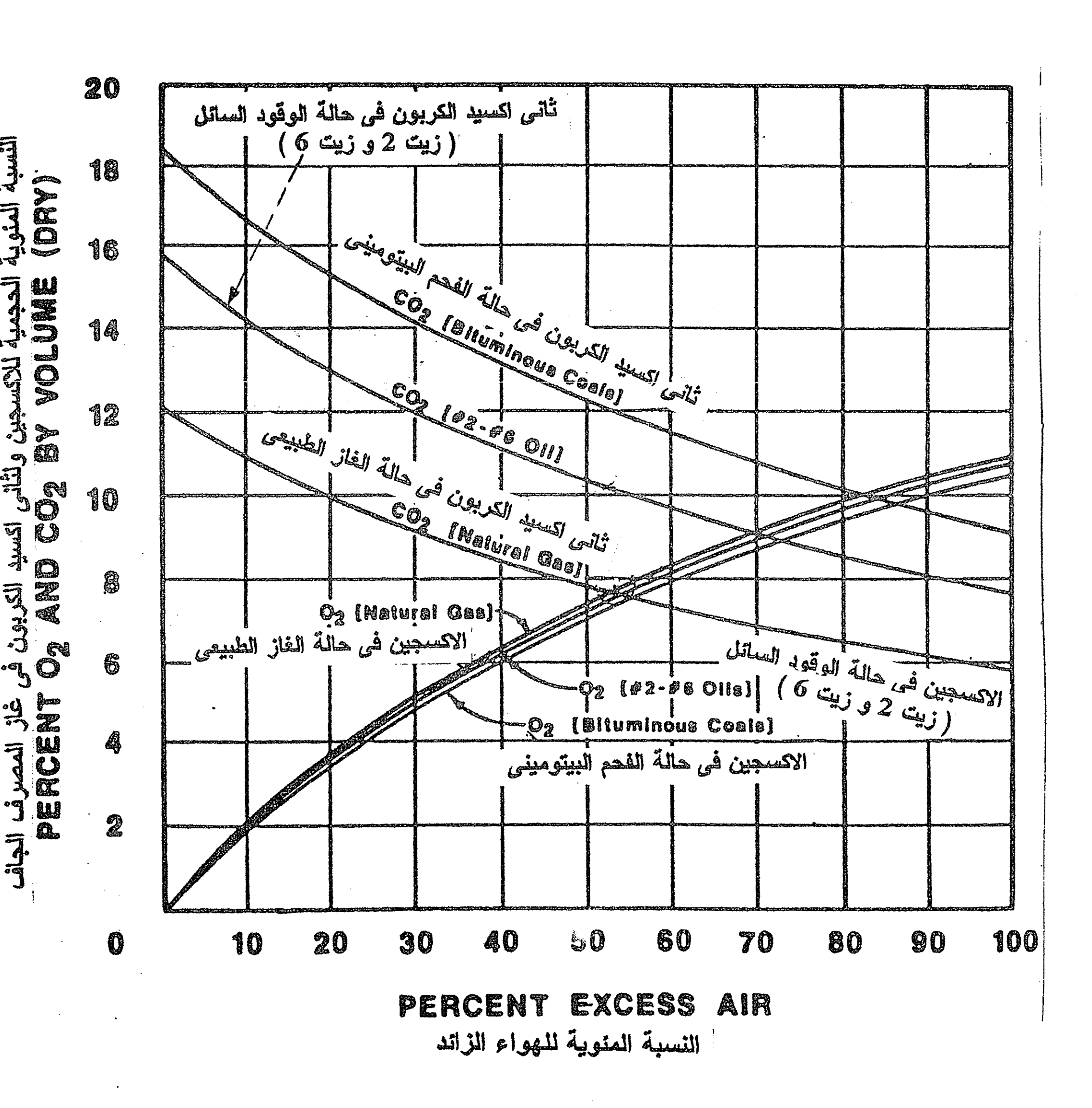
جداول مفقودات العادم (Exit gas Heat losses tables)

يوضح جدول (4-23) مفقودات العادم عند استخدام الغاز الطبيعى

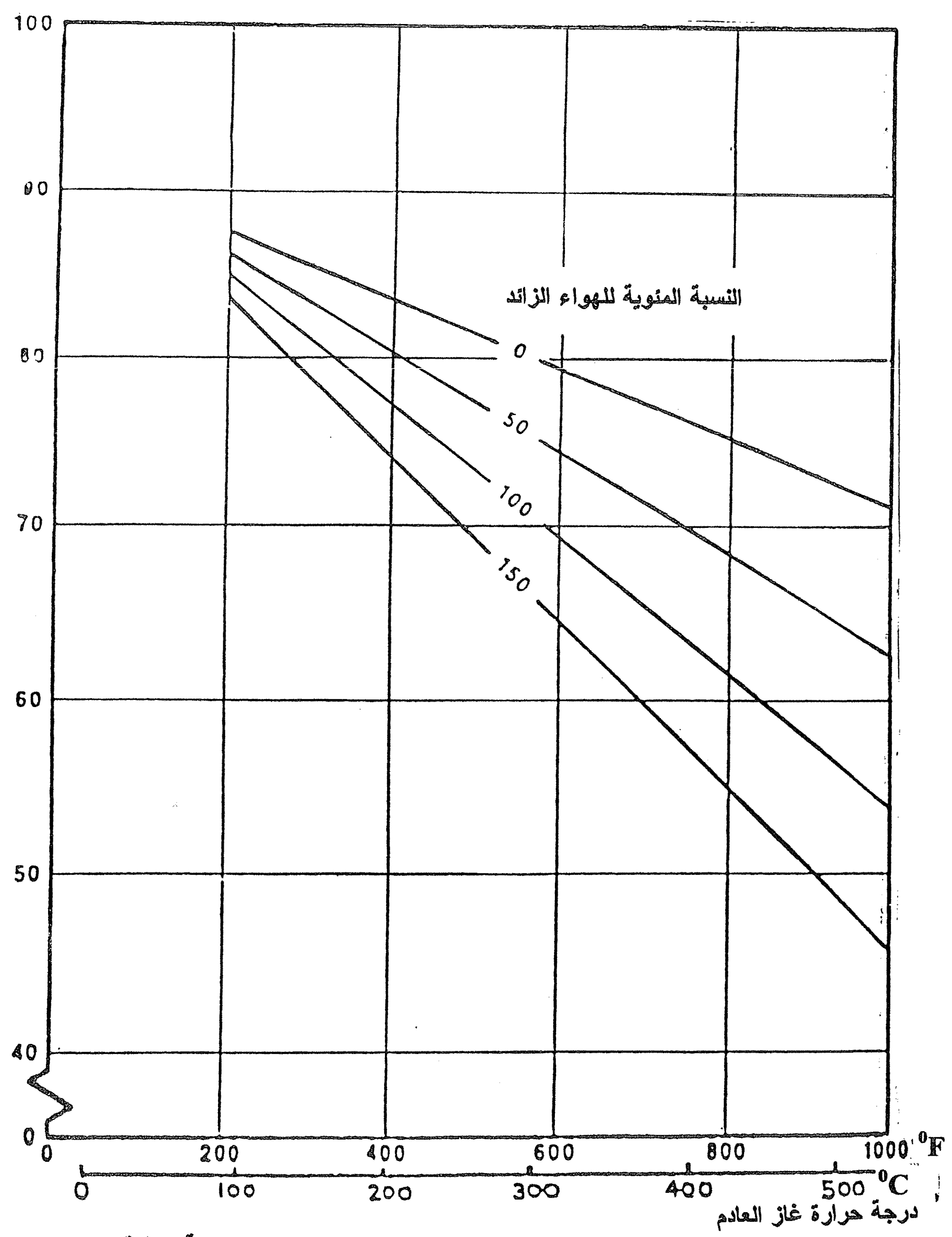
ويوضح جدول (4-24) مفقودات العادم لزيت الوقود رقم 2

ويوضح جدول (4-25) مفقودات العادم لزيت الوقود رقم 6

ويوضح جدول (4-26) مفقودات العادم للفحم

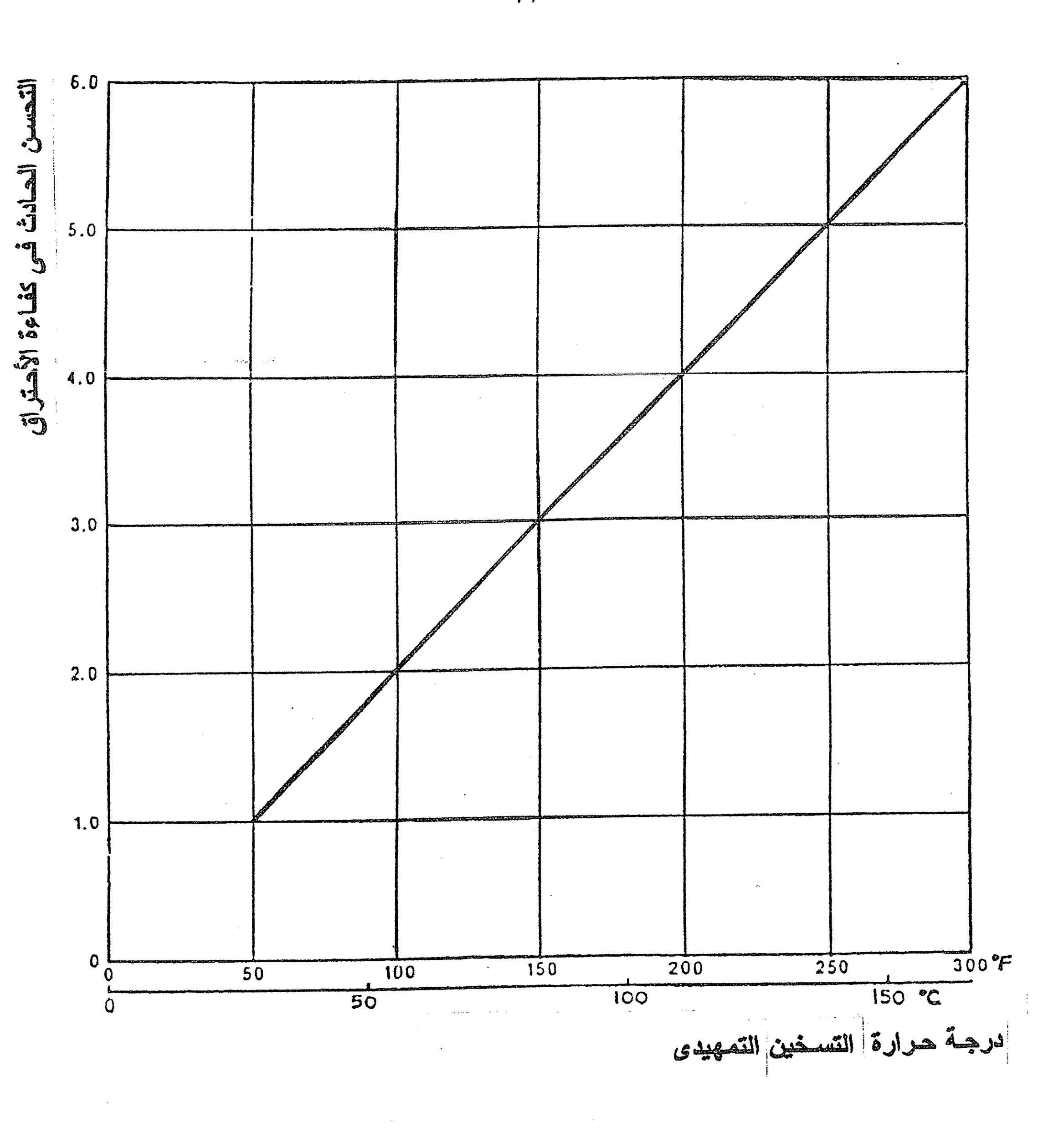


شكل (10-4) العلاقة بين نسبة الهواء الزائد ومكونات غاز العادم



شكل (11-4) العلاقة بين التغير فى كفاءة الاحتراق وتغير درجة حرارة غاز العادم عند قيم مختلفة للهواء الزائد

(ادارة طلب الطاقة -١)



شكل (12-4) العلاقة بين التحسن الحادث فى كفاءة الاحتراق نتيجة التسخين التمهيدى لهواء الاحتراق باستخدام غاز العادم

جدول (4-18) خصائص بعض أنواع الوقود

نوع الوقود	القيمة الحرارية العليا Higher heating value	نسبة الكربون Carbon %	نسبة الهيدروجين Hydrogen %	أقصى قيمة لثانى أكسيد الكربون Ultimate CO_2
الغاز الطبيعى	21830 Btu/lb	69.4	22.5	11.7
زيت رقم 2	18993 Btu/lb 137080 Btu/gal	87.3	12.5	15.7
زيت رقم 6	18126 Btu/lb 153120 Btu/gal	88.5	9.3	16.7
الكيروسين	19942 Btu/lb 137000 Btu/gal	86.5	13.2	15.12
الفحم البيتومينى	14030 Btu/lb	80.1	5	18.5

جدول (4-19)
كفاءة الاحتراق للغاز الطبيعى

NATURAL GAS

الهواء الزائد EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	كفاءة الأحتراق COMBUSTION EFFICIENCY FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.00	0.00	11.80	86.3	86.1	85.9	85.7	85.5	85.3	85.1	84.9	84.7	84.5	84.2	84	83.8	83.6
2.20	0.50	11.50	86.3	86.1	85.9	85.6	85.4	85.2	85	84.8	84.6	84.4	84.1	83.9	83.7	83.5
4.50	1.00	11.20	86.2	86	85.8	85.6	85.3	85.1	84.9	84.7	84.5	84.2	84	83.8	83.6	83.4
6.90	1.50	11.00	86.1	85.9	85.7	85.5	85.2	85	84.8	84.6	84.4	84.1	83.9	83.7	83.5	83.2
9.50	2.00	10.70	86.1	85.8	85.6	85.4	85.2	84.9	84.7	84.5	84.2	84	83.8	83.6	83.3	83.1
12.10	2.50	10.40	86	85.7	85.5	85.3	85.1	84.8	84.6	84.4	84.1	83.9	83.7	83.4	83.2	83
15.00	3.00	10.10	85.9	85.7	85.4	85.2	85	84.7	84.5	84.2	84	83.8	83.5	83.3	83.3	82.8
18.00	3.50	9.80	85.8	85.6	85.3	85.1	84.8	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6	83.4	83.1	82.9	82.6
21.10	4.00	9.60	85.7	85.5	85.2	85	84.7	84.5	84.2	84	83.7	83.5	83.2	83	82.7	82.5
24.50	4.50	9.30	85.6	85.4	85.1	84.8	84.6	84.3	84.1	83.8	83.6	83.3	83.1	82.8	82.6	82.3
28.10	5.00	9.00	85.5	85.2	85	84.7	84.5	84.2	83.9	83.7	83.4	83.2	82.9	82.6	82.4	82.1
31.90	5.50	8.70	85.4	85.1	84.9	84.6	84.3	84.1	83.8	83.5	83.3	83	82.7	82.4	82.2	81.9
35.90	6.00	8.40	85.3	85	84.7	84.4	84.2	83.9	83.6	83.3	83.1	82.8	82.5	82.2	82	81.7
40.30	6.50	8.20	85.1	84.9	84.6	84.3	84	83.7	83.4	83.2	82.9	82.6	82.3	82	81.7	81.5
44.90	7.00	7.90	85	84.7	84.4	84.1	83.8	83.5	83.3	83	82.7	82.4	82.1	81.8	81.5	81.2
49.90	7.50	7.60	84.8	84.5	84.2	84	83.7	83.4	83.1	82.8	82.5	82.2	81.9	81.6	81.3	80.9
55.30	8.00	7.30	84.7	84.4	84.1	83.8	83.5	83.1	82.8	82.5	82.2	81.9	81.6	81.3	81	80.7
61.10	8.50	7.00	84.5	84.2	83.9	83.6	83.2	82.9	82.6	82.3	82	81.6	81.3	81	80.7	80.4
67.30	9.00	6.70	84.3	84	83.7	83.3	83	82.7	82.3	82	81.7	81.4	81	80.7	80.4	80
74.20	9.50	6.50	84.1	83.8	83.4	83.1	82.8	82.4	82.1	81.7	81.4	81	80.7	80.3	80	79.7
81.60	10.00	6.20	83.9	83.5	83.2	82.8	82.5	82.1	81.8	81.4	81.1	80.7	80.3	80	79.6	79.3
89.80	10.50	5.90	83.6	83.3	82.9	82.5	82.2	81.8	81.4	81.1	80.7	80.3	79.9	79.6	79.2	78.8
98.70	11.00	5.60	83.4	83	82.6	82.2	81.8	81.5	81.1	80.7	80.3	79.9	79.5	79.1	78.7	78.3
108.70	11.50	5.30	83.1	82.7	82.3	81.9	81.5	81.1	80.7	80.3	79.9	79.4	79	78.6	78.2	77.8
119.70	12.00	5.10	82.7	82.3	81.9	81.5	81.1	80.6	80.2	79.8	79.4	78.9	78.5	78.1	77.7	77.2
132.00	12.50	4.80	82.4	81.9	81.5	81	80.6	80.2	79.7	79.3	78.8	78.4	77.9	77.5	77	76.6
145.80	13.00	4.50	82	81.5	81	80.6	80.1	79.6	79.1	78.7	78.2	77.7	77.3	76.8	76.3	75.8
161.50	13.50	4.20	81.5	81	80.5	80	79.5	79	78.5	78	77.5	77	76.5	76	75.5	75
179.50	14.00	3.90	81	80.4	79.9	79.4	78.8	78.3	77.8	77.2	76.7	76.2	75.7	75.1	74.6	74
200.20	14.50	3.7	80.3	79.8	79.2	78.6	78.1	77.5	76.9	76.4	75.8	75.2	74.7	74.1	73.5	72.9
224.30	15.00	3.40	79.6	79	78.4	77.8	77.2	76.6	76	75.3	74.7	74.1	73.5	72.9	72.3	71.7

تابع جدول (4-19)

NATURAL GAS

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
0.00	0.00	11.80	83.4	83.2	83	82.8	82.5	82.3	82.1	81.9	81.7	81.5	81.2	81	80.8	80.6
2.20	0.50	11.50	83.3	83.1	82.8	82.6	82.4	82.2	82	81.7	81.5	81.3	81.1	80.9	80.6	80.4
4.50	1.00	11.20	83.1	82.9	82.7	82.5	82.3	82	81.8	81.6	81.4	81.1	80.9	80.7	80.5	80.2
6.90	1.50	11.00	83	82.8	82.6	82.3	82.1	81.9	81.6	81.4	81.2	81	80.7	80.5	80.3	80
9.50	2.00	10.70	82.9	82.6	82.4	82.2	81.9	81.7	81.5	81.2	81	80.8	80.5	80.3	80.1	79.8
12.10	2.50	10.40	82.7	82.5	82.3	82	81.8	81.5	81.3	81.1	80.8	80.6	80.3	80.1	79.9	79.6
15.00	3.00	10.10	82.6	82.3	82.1	81.8	81.6	81.4	81.1	80.9	80.6	80.4	80.1	79.9	79.7	79.4
18.00	3.50	9.80	82.4	82.2	81.9	81.7	81.4	81.2	80.9	80.7	80.4	80.2	79.9	79.7	79.4	79.2
21.10	4.00	9.60	82.2	82	81.7	81.5	81.2	81	80.7	80.5	80.2	79.9	79.7	79.4	79.2	78.9
24.50	4.50	9.30	82	81.8	81.5	81.3	81	80.8	80.5	80.2	80	79.7	79.4	79.2	78.9	78.7
28.10	5.00	9.00	81.8	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5	80.3	80	79.7	79.5	79.2	78.9	78.6	78.4
31.90	5.50	8.70	81.6	81.4	81.1	80.8	80.6	80.3	80	79.7	79.5	79.2	78.9	78.6	78.4	78.1
35.90	6.00	8.40	81.4	81.1	80.9	80.6	80.3	80	79.7	79.5	79.2	78.9	78.6	78.3	78	77.8
40.30	6.50	8.20	81.2	80.9	80.6	80.3	80	79.7	79.5	79.2	78.9	78.6	78.3	78	77.7	77.4
44.90	7.00	7.90	80.9	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.2	77.9	77.6	77.3	77
49.90	7.50	7.60	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.2	77.9	77.6	77.3	77	76.7
55.30	8.00	7.30	80.4	80	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.1	77.8	77.5	77.2	76.9	76.6	76.2
61.10	8.50	7.00	80	79.7	79.4	79.1	78.7	78.4	78.1	77.8	77.4	77.1	76.8	76.4	76.1	75.8
67.30	9.00	6.70	79.7	79.3	79	78.7	78.3	78	77.7	77.3	77	76.6	76.3	76	75.6	75.3
74.20	9.50	6.50	79.3	79	78.6	78.3	77.9	77.6	77.2	76.9	76.5	76.2	75.8	75.5	75.1	74.7
81.60	10.00	6.20	78.9	78.5	78.2	77.8	77.5	77.1	76.7	76.4	76	75.6	75.3	74.9	74.5	74.2
89.80	10.50	5.90	78.4	78.1	77.7	77.3	76.9	76.6	76.2	75.8	75.4	75	74.7	74.3	73.9	73.5
98.70	11.00	5.60	78	77.6	77.2	76.8	76.4	76	75.6	75.2	74.8	74.4	74	73.6	73.2	72.8
108.70	11.50	5.30	77.4	77	76.6	76.2	75.8	75.4	74.9	74.5	74.1	73.7	73.3	72.9	72.4	72
119.70	12.00	5.10	76.8	76.4	75.9	75.5	75.1	74.6	74.2	73.8	73.3	72.9	72.5	72	71.6	71.2
132.00	12.50	4.80	76.1	75.7	75.2	74.8	74.3	73.9	73.4	72.9	72.5	72	71.6	71.1	70.6	70.2
145.80	13.00	4.50	75.4	74.9	74.4	73.9	73.4	73	72.5	72	71.5	71	70.6	70.1	69.6	69.1
161.50	13.50	4.20	74.5	74	73.5	73	72.5	72	71.5	70.9	70.4	69.9	69.4	68.9	68.4	67.9
179.50	14.00	3.90	73.5	73	72.4	71.9	71.4	70.8	70.3	69.7	69.2	68.6	68.1	67.5	67	66.4
200.20	14.50	3.7	72.4	71.8	71.2	70.6	70.1	69.5	68.9	68.3	67.7	67.2	66.6	66	65.4	64.8
224.30	15.00	3.40	71	70.4	69.8	69.2	68.6	67.9	67.3	66.7	66.1	65.4	64.8	64.2	63.5	62.9

تابع جدول (4-19)

NATURAL GAS

الهواء الزائد EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580
0.00	0.00	11.80	80.4	80.1	79.9	79.7	79.5	79.3	79	78.8	78.6	78.4	78.1	77.9	77.7	77.5
2.20	0.50	11.50	80.2	80	79.7	79.5	79.3	79.1	78.8	78.6	78.4	78.2	77.9	77.7	77.5	77.2
4.50	1.00	11.20	80	79.8	79.5	79.3	79.1	78.9	78.6	78.4	78.2	77.9	77.7	77.5	77.2	77
6.90	1.50	11.00	79.8	79.6	79.3	79.1	78.9	78.6	78.4	78.2	77.9	77.7	77.5	77.2	77	76.8
9.50	2.00	10.70	79.6	79.4	79.1	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	77.7	77.5	77.2	77	76.7	76.5
12.10	2.50	10.40	79.4	79.1	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	77.7	77.4	77.2	76.9	76.7	76.5	76.2
15.00	3.00	10.10	79.2	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	77.7	77.4	77.2	76.9	76.7	76.4	76.2	75.9
18.00	3.50	9.80	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	77.6	77.4	77.1	76.9	76.6	76.4	76.1	75.9	75.6
21.10	4.00	9.60	78.7	78.4	78.1	77.9	77.6	77.4	77.1	76.8	76.6	76.3	76.1	75.8	75.5	75.3
24.50	4.50	9.30	78.4	78.1	77.9	77.6	77.3	77.1	76.8	76.5	76.3	76	75.7	75.4	75.2	74.9
28.10	5.00	9.00	78.1	77.8	77.6	77.3	77	76.7	76.5	76.2	75.9	75.6	75.4	75.1	74.8	74.5
31.90	5.50	8.70	77.8	77.5	77.2	77	76.7	76.4	76.1	75.8	75.6	75.3	75	74.7	74.4	74.1
35.90	6.00	8.40	77.5	77.2	76.9	76.6	76.3	76	75.7	75.5	75.2	74.9	74.6	74.3	74	73.7
40.30	6.50	8.20	77.1	76.8	76.5	76.2	75.9	75.6	75.3	75.1	74.8	74.5	74.2	73.9	73.6	73.3
44.90	7.00	7.90	76.7	76.4	76.1	75.8	75.5	75.2	74.9	74.6	74.3	74	73.7	73.4	73.1	72.8
49.90	7.50	7.60	76.3	76	75.7	75.4	75.1	74.8	74.5	74.1	73.8	73.5	73.2	72.9	72.6	72.2
55.30	8.00	7.30	75.9	75.6	75.3	74.9	74.6	74.3	74	73.6	73.3	73	72.7	72.3	72	71.7
61.10	8.50	7.00	75.4	75.1	74.8	74.4	74.1	73.8	73.4	73.1	72.8	72.4	72.1	71.8	71.4	71.1
67.30	9.00	6.70	74.9	74.6	74.2	73.9	73.6	73.2	72.9	72.5	72.2	71.8	71.5	71.1	70.8	70.4
74.20	9.50	6.50	74.4	74	73.7	73.3	73	72.6	72.2	71.9	71.5	71.2	70.8	70.4	70.1	69.7
81.60	10.00	6.20	73.8	73.4	73	72.7	72.3	71.9	71.6	71.2	70.8	70.4	70.1	69.7	69.3	68.9
89.80	10.50	5.90	73.1	72.7	72.4	72	71.6	71.2	70.8	70.4	70	69.6	69.2	68.9	68.5	68.1
98.70	11.00	5.60	72.4	72	71.6	71.2	70.8	70.4	70	69.6	69.2	68.8	68.4	67.9	67.5	67.1
108.70	11.50	5.30	71.6	71.2	70.8	70.3	69.9	69.5	69.1	68.6	68.2	67.8	67.4	66.9	66.5	66.1
119.70	12.00	5.10	70.7	70.3	69.8	69.4	68.9	68.5	68.1	67.6	67.2	66.7	66.3	65.8	65.4	64.9
132.00	12.50	4.80	69.7	69.3	68.8	68.3	67.9	67.4	66.9	66.5	66	65.5	65.1	64.6	64.1	63.6
145.80	13.00	4.50	68.6	68.1	67.6	67.1	66.6	66.2	65.7	65.2	64.7	64.2	63.7	63.2	62.7	62.2
161.50	13.50	4.20	67.3	66.8	66.3	65.8	65.3	64.7	64.2	63.7	63.2	62.6	62.1	61.6	61.1	60.5
179.50	14.00	3.90	65.9	65.3	64.8	64.2	63.7	63.1	62.6	62	61.5	60.9	60.3	59.8	59.2	58.7
200.20	14.50	3.7	64.2	63.6	63.1	62.5	61.9	61.3	60.7	60.1	59.5	58.9	58.3	57.7	57.1	56.5
224.30	15.00	3.40	62.3	61.7	61	60.4	59.7	59.1	58.5	57.8	57.2	56.5	55.9	55.3	54.6	54

تابع جدول (4-19)

NATURAL GAS

الهواء الزائد EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
0.00	0.00	11.80	77.2	77	76.8	76.6	76.3	76.1	75.9	75.7	75.4	75.2	75	74.7	74.5	74.3
2.20	0.50	11.50	77	76.8	76.6	76.3	76.1	75.9	75.6	75.4	75.2	74.9	74.7	74.5	74.2	74
4.50	1.00	11.20	76.8	76.5	76.3	76.1	75.8	75.6	75.4	75.1	74.9	74.6	74.4	74.2	73.9	73.7
6.90	1.50	11.00	76.5	76.3	76	75.8	75.6	75.3	75.1	74.8	74.6	74.3	74.1	73.9	73.6	73.4
9.50	2.00	10.70	76.2	76	75.8	75.5	75.3	75	74.8	74.5	74.3	74	73.8	73.5	73.3	73
12.10	2.50	10.40	76	75.7	75.5	75.2	75	74.7	74.5	74.2	74	73.7	73.4	73.2	72.9	72.7
15.00	3.00	10.10	75.7	75.4	75.1	74.9	74.6	74.4	74.1	73.9	73.6	73.4	73.1	72.8	72.6	72.3
18.00	3.50	9.80	75.3	75.1	74.8	74.6	74.3	74	73.8	73.5	73.2	73	72.7	72.5	72.2	71.9
21.10	4.00	9.60	75	74.7	74.5	74.2	73.9	73.7	73.4	73.1	72.9	72.6	72.3	72	71.8	71.5
24.50	4.50	9.30	74.6	74.4	74.1	73.8	73.5	73.3	73	72.7	72.4	72.2	71.9	71.6	71.3	71.1
28.10	5.00	9.00	74.3	74	73.7	73.4	73.1	72.9	72.6	72.3	72	71.7	71.4	71.2	70.9	70.6
31.90	5.50	8.70	73.8	73.6	73.3	73	72.7	72.4	72.1	71.8	71.5	71.3	71	70.7	70.4	70.1
35.90	6.00	8.40	73.4	73.1	72.8	72.5	72.2	71.9	71.6	71.4	71.1	70.8	70.5	70.2	69.9	69.6
40.30	6.50	8.20	73	72.7	72.4	72	71.7	71.4	71.1	70.8	70.5	70.2	69.9	69.6	69.3	69
44.90	7.00	7.90	72.5	72.1	71.8	71.5	71.2	70.9	70.6	70.3	70	69.6	69.3	69	68.7	68.4
49.90	7.50	7.60	71.9	71.6	71.3	71	70.6	70.3	70	69.7	69.4	69	68.7	68.4	68.1	67.7
55.30	8.00	7.30	71.4	71	70.7	70.4	70	69.7	69.4	69	68.7	68.4	68	67.7	67.4	67
61.10	8.50	7.00	70.7	70.4	70.1	69.7	69.4	69	68.7	68.3	68	67.6	67.3	67	66.6	66.3
67.30	9.00	6.70	70.1	69.7	69.4	69	68.6	68.3	67.9	67.6	67.2	66.9	66.5	66.2	65.8	65.4
74.20	9.50	6.50	69.3	69	68.6	68.2	67.9	67.5	67.1	66.8	66.4	66	65.7	65.3	64.9	64.5
81.60	10.00	6.20	68.5	68.2	67.8	67.4	67	66.6	66.3	65.9	65.5	65.1	64.7	64.3	63.9	63.6
89.80	10.50	5.90	67.7	67.3	66.9	66.5	66.1	65.7	65.3	64.9	64.5	64.1	63.7	63.3	62.9	62.5
98.70	11.00	5.60	66.7	66.3	65.9	65.5	65.1	64.6	64.2	63.8	63.4	63	62.6	62.1	61.7	61.3
108.70	11.50	5.30	65.7	65.2	64.8	64.4	63.9	63.5	63.1	62.6	62.2	61.8	61.3	60.9	60.4	60
119.70	12.00	5.10	64.5	64	63.6	63.1	62.7	62.2	61.8	61.3	60.8	60.4	59.9	59.5	59	58.6
132.00	12.50	4.80	63.2	62.7	62.2	61.7	61.3	60.8	60.3	59.8	59.3	58.9	58.4	57.9	57.4	56.9
145.80	13.00	4.50	61.7	61.2	60.7	60.2	59.7	59.2	58.7	58.2	57.7	57.1	56.6	56.1	55.6	55.1
161.50	13.50	4.20	60	59.5	58.9	58.4	57.9	57.3	56.8	56.3	55.7	55.2	54.7	54.1	53.6	53
179.50	14.00	3.90	58.1	57.5	57	56.4	55.8	55.3	54.7	54.1	53.6	53	52.4	51.8	51.3	50.7
200.20	14.50	3.7	55.9	55.3	54.7	54.1	53.5	52.9	52.3	51.6	51	50.4	49.8	49.2	48.6	48
224.30	15.00	3.40	53.3	52.7	52	51.4	50.7	50.1	49.4	48.7	48.1	47.4	46.8	46.1	45.5	44.8

جدول (4-20)

كفاءة الاحتراق للزيت السائل رقم 2

NUMBER 2 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE, DEG F													
			170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.00	0.00	15.60	90.6	90.4	90.2	90	89.8	89.6	89.4	89.2	89	88.8	88.6	88.4	88.2	88
2.30	0.50	15.20	90.5	90.3	90.1	89.9	89.7	89.5	89.3	89.1	88.9	88.7	88.5	88.3	88	87.8
4.70	1.00	14.90	90.4	90.2	90	89.8	89.6	89.4	89.2	89	88.8	88.6	88.3	88.1	87.9	87.7
7.20	1.50	14.50	90.4	90.1	89.9	89.7	89.5	89.3	89.1	88.9	88.7	88.4	88.2	88	87.8	87.6
9.90	2.00	14.10	90.3	90.1	89.8	89.6	89.4	89.2	89	88.8	88.5	88.3	88.1	87.9	87.7	87.4
12.60	2.50	13.80	90.2	90	89.8	89.5	89.3	89.1	88.9	88.6	88.4	88.2	88	87.7	87.5	87.3
15.60	3.00	13.40	90.1	89.9	89.7	89.4	89.2	89	88.7	88.5	88.3	88.1	87.8	87.6	87.4	87.1
18.70	3.50	13.00	90	89.8	89.5	89.3	89.1	88.9	88.6	88.4	88.2	87.9	87.7	87.5	87.2	87
22.00	4.00	12.60	89.9	89.7	89.4	89.2	89	88.7	88.5	88.3	88	87.8	87.5	87.3	87	86.8
25.50	4.50	12.30	89.8	89.6	89.3	89.1	88.8	88.6	88.3	88.1	87.9	87.6	87.4	87.1	86.9	86.6
29.20	5.00	11.90	89.7	89.5	89.2	89	88.7	88.5	88.2	87.9	87.7	87.4	87.2	86.9	86.7	86.4
33.20	5.50	11.50	89.6	89.3	89.1	88.8	88.6	88.3	88	87.8	87.5	87.3	87	86.7	86.5	86.2
37.40	6.00	11.20	89.5	89.2	88.9	88.7	88.4	88.1	87.9	87.6	87.3	87.1	86.8	86.5	86.3	86
41.90	6.50	10.80	89.3	89.1	88.8	88.5	88.2	88	87.7	87.4	87.1	86.9	86.6	86.3	86	85.8
46.80	7.00	10.40	89.2	88.9	88.6	88.3	88.1	87.8	87.5	87.2	86.9	86.6	86.4	86.1	85.8	85.5
52.00	7.50	10.00	89	88.7	88.4	88.2	87.9	87.6	87.3	87	86.7	86.4	86.1	85.8	85.5	85.2
57.60	8.00	9.70	88.9	88.6	88.3	88	87.7	87.4	87.1	86.8	86.5	86.2	85.9	85.6	85.2	84.9
63.60	8.50	9.30	88.7	88.4	88.1	87.8	87.4	87.1	86.8	86.5	86.2	85.9	85.6	85.3	84.9	84.6
70.20	9.00	8.90	88.5	88.2	87.8	87.5	87.2	86.9	86.6	86.2	85.9	85.6	85.3	84.9	84.6	84.3
77.30	9.50	8.60	88.3	87.9	87.6	87.3	86.9	86.6	86.3	85.9	85.6	85.3	84.9	84.6	84.2	83.9
85.00	10.00	8.20	88	87.7	87.4	87	86.7	86.3	86	85.6	85.3	84.9	84.6	84.2	83.9	83.5
93.50	10.50	7.80	87.8	87.4	87.1	86.7	86.3	86	85.6	85.3	84.9	84.5	84.2	83.8	83.4	83.1
102.90	11.00	7.40	87.5	87.1	86.8	86.4	86	85.6	85.2	84.9	84.5	84.1	83.7	83.3	82.9	82.6
113.20	11.50	7.10	87.2	86.8	86.4	86	85.6	85.2	84.8	84.4	84	83.6	83.2	82.8	82.4	82
124.70	12.00	6.70	86.9	86.5	86	85.6	85.2	84.8	84.4	84	83.5	83.1	82.7	82.3	81.8	81.4
137.50	12.50	6.30	86.5	86.1	85.6	85.2	84.7	84.3	83.9	83.4	83	82.5	82.1	81.6	81.2	80.7
152.00	13.00	6.00	86.1	85.6	85.1	84.7	84.2	83.7	83.3	82.8	82.3	81.9	81.4	80.9	80.5	80
168.30	13.50	5.60	85.6	85.1	84.6	84.1	83.6	83.1	82.6	82.1	81.6	81.1	80.6	80.1	79.6	79.1
187.00	14.00	5.20	85	84.5	84	83.5	82.9	82.4	81.9	81.3	80.8	80.3	79.8	79.2	78.7	78.2
208.60	14.50	4.80	84.4	83.8	83.3	82.7	82.1	81.6	81	80.4	79.9	79.3	78.7	78.2	77.6	77
233.70	15.00	4.50	83.6	83	82.4	81.8	81.2	80.6	80	79.4	78.8	78.2	77.5	76.9	76.3	75.7

تابع جدول (4-20)

NUMBER 2 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
0.00	0.00	15.60	87.8	87.6	87.4	87.1	86.9	86.7	86.5	86.3	86.1	85.9	85.7	85.5	85.3	85.1
2.30	0.50	15.20	87.6	87.4	87.2	87	86.8	86.6	86.4	86.2	86	85.8	85.5	85.3	85.1	84.9
4.70	1.00	14.90	87.5	87.3	87.1	86.9	86.7	86.4	86.2	86	85.8	85.6	85.4	85.2	84.9	84.7
7.20	1.50	14.50	87.4	87.2	86.9	86.7	86.5	86.3	86.1	85.8	85.6	85.4	85.2	85	84.7	84.5
9.90	2.00	14.10	87.2	87	86.8	86.6	86.3	86.1	85.9	85.7	85.4	85.2	85	84.8	84.5	84.3
12.60	2.50	13.80	87.1	86.8	86.6	86.4	86.2	85.9	85.7	85.5	85.3	85	84.8	84.6	84.3	84.1
15.60	3.00	13.40	86.9	86.7	86.5	86.2	86	85.8	85.5	85.3	85.1	84.8	84.6	84.3	84.1	83.9
18.70	3.50	13.00	86.7	86.5	86.3	86	85.8	85.6	85.3	85.1	84.8	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6
22.00	4.00	12.60	86.6	86.3	86.1	85.8	85.6	85.3	85.1	84.9	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6	83.4
25.50	4.50	12.30	86.4	86.1	85.9	85.6	85.4	85.1	84.9	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6	83.4	83.1
29.20	5.00	11.90	86.2	85.9	85.7	85.4	85.1	84.9	84.6	84.4	84.1	83.9	83.6	83.3	83.1	82.8
33.20	5.50	11.50	86	85.7	85.4	85.2	84.9	84.6	84.4	84.1	83.8	83.6	83.3	83	82.8	82.5
37.40	6.00	11.20	85.7	85.5	85.2	84.9	84.6	84.4	84.1	83.8	83.6	83.3	83	82.7	82.5	82.2
41.90	6.50	10.80	85.5	85.2	84.9	84.6	84.4	84.1	83.8	83.5	83.2	83	82.7	82.4	82.1	81.8
46.80	7.00	10.40	85.2	84.9	84.6	84.4	84.1	83.8	83.5	83.2	82.9	82.6	82.3	82	81.7	81.5
52.00	7.50	10.00	84.9	84.6	84.3	84.1	83.8	83.5	83.2	82.9	82.6	82.3	82	81.7	81.4	81
57.60	8.00	9.70	84.6	84.3	84	83.7	83.4	83.1	82.8	82.5	82.2	81.9	81.6	81.2	80.9	80.6
63.60	8.50	9.30	84.3	84	83.7	83.4	83	82.7	82.4	82.1	81.8	81.4	81.1	80.8	80.5	80.1
70.20	9.00	8.90	84	83.6	83.3	83	82.6	82.3	82	81.6	81.3	81	80.6	80.3	80	79.6
77.30	9.50	8.60	83.6	83.2	82.9	82.5	82.2	81.9	81.5	81.2	80.8	80.5	80.1	79.8	79.4	79.1
85.00	10.00	8.20	83.1	82.8	82.4	82.1	81.7	81.4	81	80.6	80.3	79.9	79.6	79.2	78.8	78.5
93.50	10.50	7.80	82.7	82.3	81.9	81.6	81.2	80.8	80.5	80.1	79.7	79.3	79	78.6	78.2	77.8
102.90	11.00	7.40	82.2	81.8	81.4	81	80.6	80.2	79.8	79.5	79.1	78.7	78.3	77.9	77.5	77.1
113.20	11.50	7.10	81.6	81.2	80.8	80.4	80	79.6	79.2	78.8	78.4	77.9	77.5	77.1	76.7	76.3
124.70	12.00	6.70	81	80.6	80.1	79.7	79.3	78.9	78.4	78	77.6	77.1	76.7	76.3	75.8	75.4
137.50	12.50	6.30	80.3	79.9	79.4	79	78.5	78	77.6	77.1	76.7	76.2	75.8	75.3	74.9	74.4
152.00	13.00	6.00	79.5	79	78.6	78.1	77.6	77.1	76.7	76.2	75.7	75.2	74.7	74.3	73.8	73.3
168.30	13.50	5.60	78.6	78.1	77.6	77.1	76.6	76.1	75.6	75.1	74.6	74.1	73.6	73	72.5	72
187.00	14.00	5.20	77.6	77.1	76.5	76	75.5	74.9	74.4	73.8	73.3	72.8	72.2	71.7	71.1	70.6
208.60	14.50	4.80	76.4	75.9	75.3	74.7	74.1	73.6	73	72.4	71.8	71.2	70.7	70.1	69.5	68.9
233.70	15.00	4.50	75.1	74.5	73.8	73.2	72.6	72	71.3	70.7	70.1	69.5	68.8	68.2	67.6	66.9

تابع جدول (4-20)

NUMBER 2 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580
0.00	0.00	15.60	84.9	84.7	84.5	84.2	84	83.8	83.6	83.4	83.2	83	82.8	82.5	82.3	82.1
2.30	0.50	15.20	84.7	84.5	84.3	84	83.8	83.6	83.4	83.2	83	82.8	82.5	82.3	82.1	81.9
4.70	1.00	14.90	84.5	84.3	84.1	83.8	83.6	83.4	83.2	83	82.7	82.5	82.3	82.1	81.9	81.6
7.20	1.50	14.50	84.3	84.1	83.9	83.6	83.4	83.2	83	82.7	82.5	82.3	82.1	81.8	81.6	81.4
9.90	2.00	14.10	84..1	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.5	82.3	82	81.8	81.6	81.3	81.1
12.60	2.50	13.80	83.9	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.5	82.2	82	81.8	81.5	81.3	81	80.8
15.60	3.00	13.40	83.6	83.4	83.2	82.9	82.7	82.4	82.2	82	81.7	81.5	81.2	81	80.7	80.5
18.70	3.50	13.00	83.4	83.1	82.9	82.7	82.4	82.2	81.9	81.7	81.4	81.2	80.9	80.7	80.4	80.2
22.00	4.00	12.60	83.1	82.9	82.6	82.4	82.1	81.9	81.6	81.4	81.1	80.9	80.6	80.4	80.1	79.8
25.50	4.50	12.30	82.8	82.6	82.3	82.1	81.8	81.6	81.3	81	80.8	80.5	80.3	80	79.7	79.5
29.20	5.00	11.90	82.6	82.3	82	81.8	81.5	81.2	81	80.7	80.4	80.2	79.9	79.6	79.4	79.1
33.20	5.50	11.50	82.2	82	81.7	81.4	81.2	80.9	80.6	80.3	80.1	79.8	79.5	79.2	79	78.7
37.40	6.00	11.20	81.9	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5	80.2	79.9	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.3
41.90	6.50	10.80	81.5	81.3	81	80.7	80.4	80.1	79.8	79.5	79.2	79	78.7	78.4	78.1	77.8
46.80	7.00	10.40	81.2	80.9	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.2	77.9	77.6	77.3
52.00	7.50	10.00	80.7	80.4	80.1	79.8	79.5	79.2	78.9	78.6	78.3	78	77.7	77.4	77.1	76.7
57.60	8.00	9.70	80.3	80	79.7	79.4	79	78.7	78.4	78.1	77.8	77.5	77.1	76.8	76.5	76.2
63.60	8.50	9.30	79.8	79.5	79.2	78.8	78.5	78.2	77.9	77.5	77.2	76.9	76.5	76.2	75.9	75.5
70.20	9.00	8.90	79.3	79	78.6	78.3	77.9	77.6	77.3	76.9	76.6	76.2	75.9	75.6	75.2	74.9
77.30	9.50	8.60	78.7	78.4	78	77.7	77.3	77	76.6	76.3	75.9	75.6	75.2	74.9	74.5	74.1
85.00	10.00	8.20	78.1	77.8	77.4	77	76.7	76.3	75.9	75.6	75.2	74.8	74.4	74.1	73.7	73.3
93.50	10.50	7.80	77.4	77.1	76.7	76.3	75.9	75.5	75.2	74.8	74.4	74	73.6	73.2	72.8	72.5
102.90	11.00	7.40	76.7	76.3	75.9	75.5	75.1	74.7	74.3	73.9	73.5	73.1	72.7	72.3	71.9	71.5
113.20	11.50	7.10	75.9	75.5	75	74.6	74.2	73.8	73.4	73	72.5	72.1	71.7	71.3	70.8	70.4
124.70	12.00	6.70	75	74.5	74.1	73.7	73.2	72.8	72.3	71.9	71.5	71	70.6	70.1	69.7	69.2
137.50	12.50	6.30	74	73.5	73	72.6	72.1	71.6	71.2	70.7	70.3	69.8	69.3	68.8	68.4	67.9
152.00	13.00	6.00	72.8	72.3	71.8	71.3	70.9	70.4	69.9	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	66.9	66.4
168.30	13.50	5.60	71.5	71	70.5	70	69.4	68.9	68.4	67.9	67.4	66.8	66.3	65.8	65.3	64.7
187.00	14.00	5.20	70	69.5	68.9	68.4	67.8	67.3	66.7	66.2	65.6	65	64.5	63.9	63.4	62.8
208.60	14.50	4.80	68.3	67.7	67.1	66.5	65.9	65.4	64.8	64.2	63.6	63	62.4	61.8	61.2	60.6
233.70	15.00	4.50	66.3	65.7	65	64.4	63.8	63.1	62.5	61.8	61.2	60.6	59.9	59.3	58.6	58

تابع جدول (4-20)

NUMBER 2 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE, DEG F													
			590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
0.00	0.00	15.60	81.9	81.7	81.5	81.3	81	80.8	80.6	80.4	80.2	80	79.7	79.5	79.3	79.1
2.30	0.50	15.20	81.7	81.4	81.2	81	80.8	80.6	80.3	80.1	79.9	79.7	79.5	79.2	79	78.8
4.70	1.00	14.90	81.4	81.2	81	80.7	80.5	80.3	80.1	79.8	79.6	79.4	79.2	78.9	78.7	78.5
7.20	1.50	14.50	81.1	80.9	80.7	80.5	80.2	80	79.8	79.5	79.3	79.1	78.8	78.6	78.4	78.1
9.90	2.00	14.10	80.9	80.6	80.4	80.2	79.9	79.7	79.5	79.2	79	78.8	78.5	78.3	78	77.8
12.60	2.50	13.80	80.6	80.3	80.1	79.9	79.6	79.4	79.1	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	77.7	77.4
15.60	3.00	13.40	80.3	80	79.8	79.5	79.3	79	78.8	78.5	78.3	78	77.8	77.6	77.3	77.1
18.70	3.50	13.00	79.9	79.7	79.4	79.2	78.9	78.7	78.4	78.2	77.9	77.7	77.4	77.2	76.9	76.7
22.00	4.00	12.60	79.6	79.3	79.1	78.8	78.6	78.3	78	77.8	77.5	77.3	77	76.7	76.5	76.2
25.50	4.50	12.30	79.2	79	78.7	78.4	78.2	77.9	77.6	77.4	77.1	76.8	76.6	76.3	76	75.8
29.20	5.00	11.90	78.8	78.6	78.3	78	77.7	77.5	77.2	76.9	76.7	76.4	76.1	75.8	75.6	75.3
33.20	5.50	11.50	78.4	78.1	77.9	77.6	77.3	77	76.7	76.5	76.2	75.9	75.6	75.3	75.1	74.8
37.40	6.00	11.20	78	77.7	77.4	77.1	76.8	76.5	76.3	76	75.7	75.4	75.1	74.8	74.5	74.2
41.90	6.50	10.80	77.5	77.2	76.9	76.6	76.3	76	75.7	75.4	75.1	74.8	74.5	74.2	73.9	73.6
46.80	7.00	10.40	77	76.7	76.4	76.1	75.8	75.5	75.2	74.9	74.6	74.2	73.9	73.6	73.3	73
52.00	7.50	10.00	76.4	76.1	75.8	75.5	75.2	74.9	74.6	74.2	73.9	73.6	73.3	73	72.7	72.3
57.60	8.00	9.70	75.8	75.5	75.2	74.9	74.6	74.2	73.9	73.6	73.3	72.9	72.6	72.3	71.9	71.6
63.60	8.50	9.30	75.2	74.9	74.5	74.2	73.9	73.5	73.2	72.9	72.5	72.2	71.9	71.5	71.2	70.8
70.20	9.00	8.90	74.5	74.2	73.8	73.5	73.1	72.8	72.4	72.1	71.7	71.4	71	70.7	70.3	70
77.30	9.50	8.60	73.8	73.4	73.1	72.7	72.3	72	71.6	71.3	70.9	70.5	70.2	69.8	69.4	69.1
85.00	10.00	8.20	73	72.6	72.2	71.8	71.5	71.1	70.7	70.3	70	69.6	69.2	68.8	68.4	68.1
93.50	10.50	7.80	72.1	71.7	71.3	70.9	70.5	70.1	69.7	69.3	68.9	68.5	68.1	67.8	67.4	67
102.90	11.00	7.40	71.1	70.7	70.3	69.9	69.5	69	68.6	68.2	67.8	67.4	67	66.6	66.2	65.7
113.20	11.50	7.10	70	69.6	69.1	68.7	68.3	67.9	67.4	67	66.6	66.1	65.7	65.3	64.8	64.4
124.70	12.00	6.70	68.8	68.3	67.9	67.4	67	66.5	66.1	65.6	65.2	64.7	64.3	63.8	63.4	62.9
137.50	12.50	6.30	67.4	67	66.5	66	65.6	65.1	64.6	64.1	63.7	63.2	62.7	62.2	61.7	61.3
152.00	13.00	6.00	65.9	65.4	64.9	64.4	63.9	63.4	62.9	62.4	61.9	61.4	60.9	60.4	59.9	59.4
168.30	13.50	5.60	64.2	63.7	63.1	62.6	62.1	61.6	61	60.5	60	59.4	58.9	58.3	57.8	57.3
187.00	14.00	5.20	62.2	61.7	61.1	60.5	60	59.4	58.8	58.3	57.7	57.1	56.6	56	55.4	54.9
208.60	14.50	4.80	60	59.4	58.8	58.2	57.6	56.9	56.3	55.7	55.1	54.5	53.9	53.3	52.7	52.1
233.70	15.00	4.50	57.3	56.7	56	55.4	54.7	54.1	53.4	52.8	52.1	51.4	50.8	50.1	49.5	48.8

جدول (4-21)
كفاءة الاحتراق للزيت السائل رقم 6

NUMBER 6 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY – FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.00	0.00	16.50	91.4	91.2	91	90.8	90.6	90.4	90.2	90	89.8	89.6	89.4	89.2	89	88.8
2.30	0.50	16.10	91.3	91.1	90.9	90.7	90.5	90.3	90.1	89.9	89.7	89.5	89.3	89.1	88.9	88.6
4.70	1.00	15.70	91.3	91	90.8	90.6	90.4	90.2	90	89.8	89.6	89.4	89.2	88.9	88.7	88.5
7.30	1.50	15.30	91.2	91	90.8	90.5	90.3	90.1	89.9	89.7	89.5	89.3	89	88.8	88.6	88.4
10.00	2.00	14.90	91.1	90.9	90.7	90.4	90.2	90	89.8	89.6	89.3	89.1	88.9	88.7	88.5	88.2
12.80	2.50	14.50	91	90.8	90.6	90.3	90.1	89.9	89.7	89.4	89.2	89	88.8	88.5	88.3	88.1
15.80	3.00	14.10	91.9	90.7	90.5	90.2	90	89.8	89.6	89.3	89.1	88.9	88.6	88.4	88.2	87.9
18.90	3.50	13.80	90.8	90.6	90.4	90.1	89.9	89.7	89.4	89.2	88.9	88.7	88.5	88.2	88	87.8
22.30	4.00	13.40	90.7	90.5	90.2	90	89.8	89.5	89.3	89	88.8	88.6	88.3	88.1	87.8	87.6
25.80	4.50	13.00	90.6	90.4	90.1	89.9	89.6	89.4	89.1	88.9	88.6	88.4	88.1	87.9	87.6	87.4
29.60	5.00	12.60	90.5	90.3	90	89.9	89.5	89.2	89	88.7	88.5	88.2	88	87.7	87.5	87.2
33.60	5.50	12.20	90.4	90.1	89.9	89.6	89.3	89.1	88.8	88.6	88.3	88	87.8	87.5	87.2	87
37.90	6.00	11.80	90.3	90	89.7	89.5	89.2	88.9	88.7	88.4	88.1	87.8	87.6	87.3	87	86.8
42.40	6.50	11.40	90.1	89.8	89.6	89.3	89	88.7	88.5	88.2	87.9	87.6	87.4	87.1	86.8	86.5
47.30	7.00	11.00	90	89.7	89.4	89.1	88.8	88.6	88.3	88	87.7	87.4	87.1	86.8	86.5	86.3
52.60	7.50	10.60	89.8	89.5	89.2	88.9	88.6	88.3	88.1	87.8	87.5	87.2	86.9	86.6	86.3	86
58.20	8.00	10.20	89.6	89.3	89	88.7	88.4	88.1	87.8	87.5	87.2	86.9	86.6	86.3	86	85.7
64.30	8.50	9.80	89.5	89.1	88.8	88.5	88.2	87.9	87.6	87.3	86.9	86.6	86.3	86	85.7	85.3
71.00	9.00	9.40	89.3	88.9	88.6	88.3	88	87.6	87.3	87	86.6	86.3	86	85.7	85.3	85
78.20	9.50	9.00	89	88.7	88.4	88	87.7	87.4	87	86.7	86.3	86	85.6	85.3	85	84.6
86.00	10.00	8.60	88.8	88.5	88.1	87.8	87.4	87	86.7	86.3	86	85.6	85.3	84.9	84.5	84.2
94.60	10.50	8.30	88.6	88.2	87.8	87.4	87.1	86.7	86.3	86	85.6	85.2	84.9	84.5	84.1	83.7
104.10	11.00	7.90	88.3	87.9	87.5	87.1	86.7	86.3	86	85.6	85.2	84.8	84.4	84	83.6	83.2
114.50	11.50	7.50	88	87.6	87.1	86.7	86.3	85.9	85.5	85.1	84.7	84.3	83.9	83.5	83.1	82.7
126.10	12.00	7.10	87.6	87.2	86.8	86.3	85.9	85.5	85.1	84.6	84.2	83.8	83.3	82.9	82.5	82.1
139.10	12.50	6.70	87.2	86.8	86.3	85.9	85.4	85	84.5	84.1	83.6	83.2	82.7	82.3	81.8	81.4
153.70	13.00	6.30	86.8	86.3	85.8	85.4	84.9	84.4	83.9	83.5	83	82.5	82	81.5	81.1	80.6
170.20	13.50	5.90	86.3	85.8	85.3	84.8	84.3	83.8	83.3	82.8	82.2	81.7	81.2	80.7	80.2	79.7
189.10	14.00	5.50	85.7	85.2	84.6	84.1	83.6	83	82.5	82	81.4	80.9	80.3	79.8	79.2	78.7
210.90	14.50	5.10	85.1	84.5	83.9	83.3	82.8	82.2	81.6	81	80.4	79.9	79.3	78.7	78.1	77.5
236.40	15.00	4.70	84.3	83.7	83.1	82.4	81.8	81.2	80.6	79.9	79.3	78.7	78.1	77.4	76.8	76.2

تابع جدول(4-21)

NUMBER 6 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
0.00	0.00	16.50	88.6	88.4	88.2	87.9	87.7	87.5	87.3	87.1	86.9	86.7	86.5	86.3	86.1	85.9
2.30	0.50	16.10	88.4	88.2	88	87.8	87.6	87.4	87.2	87	86.8	86.5	86.3	86.1	85.9	85.7
4.70	1.00	15.70	88.3	88.1	87.9	87.7	87.4	87.2	87	86.8	86.6	86.4	86.1	85.9	85.7	85.5
7.30	1.50	15.30	88.2	87.9	87.7	87.5	87.3	87.1	86.8	86.6	86.4	86.2	86	85.7	85.5	85.3
10.00	2.00	14.90	88	87.8	87.6	87.3	87.1	86.9	86.7	86.4	86.2	86	85.8	85.5	85.3	85.1
12.80	2.50	14.50	87.9	87.6	87.4	87.2	86.9	86.7	86.5	86.3	86	85.8	85.6	85.3	85.1	84.9
15.80	3.00	14.10	87.7	87.5	87.2	87	86.8	86.5	86.3	86.1	85.8	85.6	85.3	85.1	84.9	84.6
18.90	3.50	13.80	87.5	87.3	87	86.8	86.6	86.3	86.1	85.8	85.6	85.4	85.1	84.9	84.6	84.4
22.30	4.00	13.40	87.3	87.1	86.8	86.6	86.4	86.1	85.9	85.6	85.4	85.1	84.9	84.6	84.4	84.1
25.80	4.50	13.00	87.1	86.9	86.6	86.4	86.1	85.9	85.6	85.4	85.1	84.9	84.6	84.3	84.1	83.8
29.60	5.00	12.60	86.9	86.7	86.4	86.2	85.9	85.6	85.4	85.1	84.9	84.6	84.3	84.1	83.8	83.5
33.60	5.50	12.20	86.7	86.5	86.2	85.9	85.6	85.4	85.1	84.8	84.6	84.3	84	83.8	83.5	83.2
37.90	6.00	11.80	86.5	86.2	85.9	85.7	85.4	85.1	84.8	84.6	84.3	84	83.7	83.4	83.2	82.9
42.40	6.50	11.40	86.2	85.9	85.7	85.4	85.1	84.8	84.5	84.2	84	83.7	83.4	83.1	82.8	82.5
47.30	7.00	11.00	86	85.7	85.4	85.1	84.8	84.5	84.2	83.9	83.6	83.3	83	82.7	82.4	82.1
52.60	7.50	10.60	85.7	85.4	85.1	84.8	84.5	84.2	83.9	83.6	83.3	82.9	82.6	82.3	82	81.7
58.20	8.00	10.20	85.4	85	84.7	84.4	84.1	83.8	83.5	83.2	82.9	82.5	82.2	81.9	81.6	81.3
64.30	8.50	9.80	85	84.7	84.4	84.1	83.7	83.4	83.1	82.8	82.4	82.1	81.8	81.5	81.1	80.8
71.00	9.00	9.40	84.7	84.3	84	83.7	83.3	83	82.6	82.3	82	81.6	81.3	81	80.6	80.3
78.20	9.50	9.00	84.3	83.9	83.6	83.2	82.9	82.5	82.2	81.8	81.5	81.1	80.8	80.4	80.1	79.7
86.00	10.00	8.60	83.8	83.5	83.1	82.7	82.4	82	81.7	81.3	80.9	80.6	80.2	79.8	79.5	79.1
94.60	10.50	8.30	83.4	83	82.6	82.2	81.8	81.5	81.1	80.7	80.3	79.9	79.6	79.2	78.8	78.4
104.10	11.00	7.90	82.8	82.4	82	81.7	81.3	80.9	80.5	80.1	79.7	79.3	78.9	78.5	78.1	77.7
114.50	11.50	7.50	82.3	81.8	81.4	81	80.6	80.2	79.8	79.4	78.9	78.5	78.1	77.7	77.3	76.8
126.10	12.00	7.10	81.6	81.2	80.8	80.3	79.9	79.4	79	78.6	78.1	77.7	77.3	76.8	76.4	75.9
139.10	12.50	6.70	80.9	80.4	80	79.5	79.1	78.6	78.2	77.7	77.2	76.8	76.3	75.8	75.4	74.9
153.70	13.00	6.30	80.1	79.6	79.1	78.6	78.2	77.7	77.2	76.7	76.2	75.7	75.2	74.7	74.2	73.8
170.20	13.50	5.90	79.2	78.7	78.2	77.6	77.1	76.6	76.1	75.6	75.1	74.5	74	73.5	73	72.5
189.10	14.00	5.50	78.1	77.6	77.1	76.5	76	75.4	74.9	74.3	73.7	73.2	72.6	72.1	71.5	71
210.90	14.50	5.10	76.9	76.4	75.8	75.2	74.6	74	73.4	72.8	72.2	71.6	71	70.4	69.8	69.2
236.40	15.00	4.70	75.5	74.9	74.3	73.6	73	72.4	71.7	71.1	70.5	69.8	69.2	68.5	67.9	67.2

تابع جدول(4-21)

NUMBER 6 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580
0.00	0.00	16.50	85.7	85.4	85.2	85	84.8	84.6	84.4	84.2	83.9	83.7	83.5	83.3	83.1	82.9
2.30	0.50	16.10	85.5	85.3	85	84.8	84.6	84.4	84.2	83.9	83.7	83.5	83.3	83.1	82.9	82.6
4.70	1.00	15.70	85.3	85.1	84.8	84.6	84.4	84.2	83.9	83.7	83.5	83.3	83.1	82.8	82.6	82.4
7.30	1.50	15.30	85.1	84.8	84.6	84.4	84.2	83.9	83.7	83.5	83.3	83	82.8	82.6	82.3	82.1
10.00	2.00	14.90	84.8	84.6	84.4	84.2	83.9	83.7	83.5	83.2	83	82.8	82.5	82.3	82.1	81.8
12.80	2.50	14.50	84.6	84.4	84.2	83.9	83.7	83.4	83.2	83	82.7	82.5	82.3	82	81.8	81.5
15.80	3.00	14.10	84.4	84.1	83.9	83.7	83.4	83.2	82.9	82.7	82.4	82.2	82	81.7	81.5	81.2
18.90	3.50	13.80	84.1	83.9	83.6	83.4	83.1	82.9	82.6	82.4	82.1	81.9	81.6	81.4	81.1	80.9
22.30	4.00	13.40	83.9	83.6	83.4	83.1	82.8	82.6	82.3	82.1	81.8	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5
25.80	4.50	13.00	83.6	83.3	83.1	82.8	82.5	82.3	82	81.7	81.5	81.2	81	80.7	80.4	80.2
29.60	5.00	12.60	83.3	83	82.7	82.5	82.2	81.9	81.7	81.4	81.1	80.9	80.6	80.3	80	79.8
33.60	5.50	12.20	82.9	82.7	82.4	82.1	81.8	81.6	81.3	81	80.7	80.5	80.2	79.9	79.6	79.4
37.90	6.00	11.80	82.6	82.3	82	81.8	81.5	81.2	80.9	80.6	80.3	80	79.8	79.5	79.2	78.9
42.40	6.50	11.40	82.2	81.9	81.7	81.4	81.1	80.8	80.5	80.2	79.9	79.6	79.3	79	78.7	78.4
47.30	7.00	11.00	81.8	81.5	81.2	80.9	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79.1	78.8	78.5	78.2	77.9
52.60	7.50	10.60	81.4	81.1	80.8	80.5	80.2	79.9	79.6	79.2	78.9	78.6	78.3	78	77.7	77.4
58.20	8.00	10.20	81	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79	78.7	78.4	78.1	77.7	77.4	77.1	76.8
64.30	8.50	9.80	80.5	80.1	79.8	79.5	79.1	78.8	78.5	78.1	77.8	77.5	77.1	76.8	76.5	76.1
71.00	9.00	9.40	79.9	79.6	79.2	78.9	78.6	78.2	77.9	77.5	77.2	76.8	76.5	76.1	75.8	75.4
78.20	9.50	9.00	79.4	79	78.6	78.3	77.9	77.6	77.2	76.8	76.5	76.1	75.8	75.4	75	74.7
86.00	10.00	8.60	78.7	78.3	78	77.6	77.2	76.9	76.5	76.1	75.7	75.4	75	74.6	74.2	73.9
94.60	10.50	8.30	78	77.6	77.3	76.9	76.5	76.1	75.7	75.3	74.9	74.5	74.1	73.7	73.3	72.9
104.10	11.00	7.90	77.3	76.9	76.5	76	75.6	75.2	74.8	74.4	74	73.6	73.2	72.8	72.4	72
114.50	11.50	7.50	76.4	76	75.6	75.1	74.7	74.3	73.9	73.4	73	72.6	72.2	71.7	71.3	70.9
126.10	12.00	7.10	75.5	75	74.6	74.1	73.7	73.3	72.8	72.4	71.9	71.5	71	70.6	70.1	69.6
139.10	12.50	6.70	74.4	74	73.5	73	72.6	72.1	71.6	71.1	70.7	70.2	69.7	69.2	68.8	68.3
153.70	13.00	6.30	73.3	72.8	72.3	71.8	71.3	70.8	70.3	69.8	69.3	68.8	68.3	67.8	67.3	66.8
170.20	13.50	5.90	71.9	71.4	70.9	70.3	69.8	69.3	68.8	68.2	67.7	67.2	66.6	66.1	65.6	65
189.10	14.00	5.50	70.4	69.8	69.3	68.7	68.2	67.6	67	66.5	65.9	65.3	64.7	64.2	63.6	63
210.90	14.50	5.10	68.6	68	67.4	66.8	66.2	65.6	65	64.4	63.8	63.2	62.6	62	61.4	60.7
236.40	15.00	4.70	66.6	65.9	65.3	64.6	64	63.3	62.7	62	61.4	60.7	60.1	59.4	58.7	58.1

تابع جدول(4-21)

NUMBER 6 OIL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY – FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE, DEG F													
			590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
0.00	0.00	16.50	82.7	82.4	82.2	82	81.8	81.6	81.3	81.1	80.9	80.7	80.5	80.2	80	79.8
2.30	0.50	16.10	82.4	82.2	82	81.7	81.5	81.3	81.1	80.8	80.6	80.4	80.2	79.9	79.7	79.5
4.70	1.00	15.70	82.1	81.9	81.7	81.5	81.2	81	80.8	80.6	80.3	80.1	79.9	79.6	79.4	79.2
7.30	1.50	15.30	81.9	81.6	81.4	81.2	81	80.7	80.5	80.3	80	79.8	79.5	79.3	79.1	78.8
10.00	2.00	14.90	81.6	81.4	81.1	80.9	80.6	80.4	80.2	79.9	79.7	79.5	79.2	79	78.7	78.5
12.80	2.50	14.50	81.3	81	80.8	80.6	80.3	80.1	79.8	79.6	79.3	79.1	78.9	78.6	78.4	78.1
15.80	3.00	14.10	81	80.7	80.5	80.2	80	79.7	79.5	79.2	79	78.7	78.5	78.2	78	77.7
18.90	3.50	13.80	80.6	80.4	80.1	79.9	79.6	79.4	79.1	78.9	78.6	78.3	78.1	77.8	77.6	77.3
22.30	4.00	13.40	80.3	80	79.8	79.5	79.2	79	78.7	78.5	78.2	77.9	77.7	77.4	77.1	76.9
25.80	4.50	13.00	79.9	79.6	79.4	79.1	78.8	78.6	78.3	78	77.8	77.5	77.2	76.9	76.7	76.4
29.60	5.00	12.60	79.5	79.2	79	78.7	78.4	78.1	77.9	77.6	77.3	77	76.7	76.5	76.2	75.9
33.60	5.50	12.20	79.1	78.8	78.5	78.2	77.9	77.7	77.4	77.1	76.8	76.5	76.2	76	75.7	75.4
37.90	6.00	11.80	78.6	78.3	78	77.7	77.5	77.2	76.9	76.6	76.3	76	75.7	75.4	75.1	74.8
42.40	6.50	11.40	78.1	77.8	77.5	77.2	76.9	76.6	76.3	76	75.7	75.4	75.1	74.8	74.5	74.2
47.30	7.00	11.00	77.6	77.3	77	76.7	76.4	76.1	75.8	75.4	75.1	74.8	74.5	74.2	73.9	73.6
52.60	7.50	10.60	77	76.7	76.4	76.1	75.8	75.5	75.1	74.8	74.5	74.2	73.9	73.5	73.2	72.9
58.20	8.00	10.20	76.4	76.1	75.8	75.5	75.1	74.8	74.5	74.1	73.8	73.5	73.1	72.8	72.5	72.1
64.30	8.50	9.80	75.8	75.4	75.1	74.8	74.4	74.1	73.7	73.4	73.1	72.7	72.4	72	71.7	71.3
71.00	9.00	9.40	75.1	74.7	74.4	74	73.7	73.3	73	72.6	72.3	71.9	71.5	71.2	70.8	70.5
78.20	9.50	9.00	74.3	73.9	73.6	73.2	72.8	72.5	72.1	71.7	71.4	71	70.6	70.3	69.9	69.5
86.00	10.00	8.60	73.5	73.1	72.7	72.3	72	71.6	71.2	70.8	70.4	70	69.6	69.3	68.9	68.5
94.60	10.50	8.30	72.6	72.2	71.8	71.4	71	70.6	70.2	69.8	69.4	69	68.6	68.2	67.8	67.4
104.10	11.00	7.90	71.5	71.1	70.7	70.3	69.9	69.5	69.1	68.6	68.2	67.8	67.4	67	66.5	66.1
114.50	11.50	7.50	70.4	70	69.6	69.1	68.7	68.3	67.8	67.4	66.9	66.5	66.1	65.6	65.2	64.7
126.10	12.00	7.10	69.2	68.7	68.3	67.8	67.4	66.9	66.4	66	65.5	65.1	64.6	64.1	63.7	63.2
139.10	12.50	6.70	67.8	67.3	66.8	66.4	65.9	65.4	64.9	64.4	63.9	63.5	63	62.5	62	61.5
153.70	13.00	6.30	66.2	65.7	65.2	64.7	64.2	63.7	63.2	62.7	62.2	61.6	61.1	60.6	60.1	59.6
170.20	13.50	5.90	64.5	63.9	63.4	62.9	62.3	61.8	61.2	60.7	60.1	59.6	59.1	58.5	58	57.4
189.10	14.00	5.50	62.5	61.9	61.3	60.7	60.2	59.6	59	58.4	57.8	57.3	56.7	56.1	55.5	54.9
210.90	14.50	5.10	60.1	59.5	58.9	58.3	57.7	57	56.4	55.8	55.2	54.6	53.9	53.3	52.7	52.1
236.40	15.00	4.70	57.4	56.8	56.1	55.4	54.8	54.1	53.4	52.8	52.1	51.4	50.7	50.1	49.4	48.7

جدول (4-22)

كفاءة الاحتراق لفحم الـوقـود

COAL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY													
			FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.00	0.00	18.60	92.5	92.3	92.1	91.8	91.6	91.3	91.1	90.9	90.6	90.4	90.1	89.9	89.7	89.4
2.40	0.50	18.10	92.4	92.2	92	91.7	91.5	91.2	91	90.7	90.5	90.2	90	89.8	89.5	89.3
4.80	1.00	17.70	92.3	92.1	91.9	91.6	91.4	91.1	90.9	90.6	90.4	90.1	89.9	89.6	89.4	89.1
7.50	1.50	17.20	92.3	92	91.7	91.5	91.2	91	90.7	90.5	90.2	90	89.7	89.4	89.2	88.9
10.20	2.00	16.80	92.2	91.9	91.6	91.4	91.1	90.9	90.6	90.3	90.1	89.8	89.5	89.3	89	88.8
13.10	2.50	16.40	92	91.8	91.5	91.3	91	90.7	90.5	90.2	89.9	89.6	89.4	89.1	88.8	88.6
16.20	3.00	15.90	91.9	91.7	91.4	91.1	90.8	90.6	90.3	90	89.8	89.5	89.2	88.9	88.6	88.4
19.40	3.50	15.50	91.8	91.5	91.3	91	90.7	90.4	90.1	89.9	89.6	89.3	89	88.7	88.4	88.2
22.80	4.00	15.00	91.7	91.4	91.1	90.8	90.6	90.3	90	89.7	89.4	89.1	88.8	88.5	88.2	87.9
26.40	4.50	14.60	91.6	91.3	91	90.7	90.4	90.1	89.8	89.5	89.2	88.9	88.6	88.3	88	87.7
30.30	5.00	14.20	91.4	91.1	90.8	90.5	90.2	89.9	89.6	89.3	89	88.7	88.4	88.1	87.8	87.5
34.40	5.50	13.70	91.3	91	90.7	90.3	90	89.7	89.4	89.1	88.8	88.5	88.1	87.8	87.5	87.2
38.80	6.00	13.30	91.1	90.8	90.5	90.2	89.8	89.5	89.2	88.9	88.5	88.2	87.9	87.6	87.2	86.9
43.50	6.50	12.80	90.9	90.6	90.3	90	89.6	89.3	89	88.6	88.3	88	87.6	87.3	87	86.6
48.50	7.00	12.40	90.8	90.4	90.1	89.7	89.4	89.1	88.7	88.4	88	87.7	87.3	87	86.6	86.3
53.90	7.50	11.90	90.6	90.2	89.9	89.5	89.2	88.8	88.4	88.1	87.7	87.4	87	86.7	86.3	85.9
59.70	8.00	11.50	90.4	90	89.6	89.3	88.9	88.5	88.2	87.8	87.4	87.1	86.7	86.3	85.9	85.6
65.90	8.50	11.10	90.1	89.8	89.4	89	88.6	88.2	87.9	87.5	87.1	86.7	86.3	85.9	85.6	85.2
72.70	9.00	10.60	89.9	89.5	89.1	88.7	88.3	87.9	87.5	87.1	86.7	86.3	85.9	85.5	85.1	84.7
80.10	9.50	10.20	89.6	89.2	88.8	88.4	88	87.6	87.2	86.7	86.3	85.9	85.5	85.1	84.7	84.3
88.10	10.00	9.70	89.3	88.9	88.5	88	87.6	87.2	86.8	86.3	85.9	85.5	85	84.6	84.2	83.7
96.90	10.50	9.30	89	88.6	88.1	87.7	87.2	86.8	86.3	85.9	85.4	85	84.5	84.1	83.6	83.2
106.60	11.00	8.80	88.7	88.2	87.7	87.3	86.8	86.3	85.9	85.4	84.9	84.4	84	83.5	83	82.6
117.30	11.50	8.40	88.3	87.8	87.3	86.8	86.3	85.8	85.3	84.8	84.3	83.8	83.4	82.9	82.4	81.9
129.20	12.00	8.00	87.8	87.3	86.8	86.3	85.8	85.3	84.7	84.2	83.7	83.2	82.7	82.1	81.6	81.1
142.50	12.50	7.50	87.4	86.8	86.3	85.7	85.2	84.6	84.1	83.5	83	82.4	81.9	81.3	80.8	80.2
157.50	13.00	7.10	86.8	86.2	85.7	85.1	84.5	83.9	83.4	82.8	82.2	81.6	81	80.4	79.9	79.3
174.40	13.50	6.60	86.2	85.6	85	84.4	83.7	83.1	82.5	81.9	81.3	80.7	80.1	79.4	78.8	78.2
193.80	14.00	6.20	85.5	84.8	84.2	83.5	82.9	82.2	81.6	80.9	80.3	79.6	78.9	78.3	77.6	76.9
216.10	14.50	5.80	84.7	84	83.3	82.6	81.9	81.2	80.5	79.8	79.1	78.3	77.6	76.9	76.2	75.5
242.20	15.00	5.30	83.7	83	82.2	81.5	80.7	79.9	79.2	78.4	77.7	76.9	76.1	75.4	74.6	73.8

تابع جدول(4-22)

COAL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY — FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440
0.00	0.00	18.60	89.2	88.9	88.7	88.4	80.2	87.9	87.7	87.5	87.2	87	86.7	86.5	86.2	86
2.40	0.50	18.10	89	88.8	88.5	88.3	88	87.8	87.5	87.3	87	86.8	86.5	86.2	86	85.7
4.80	1.00	17.70	88.8	88.6	88.3	88.1	87.8	87.6	87.3	87.1	86.8	86.5	86.3	86	85.8	85.5
7.50	1.50	17.20	88.7	88.4	88.2	87.9	87.6	87.4	87.1	86.8	86.6	86.3	86.1	85.8	85.5	85.3
10.20	2.00	16.80	88.5	88.2	88	87.7	87.4	87.2	86.9	86.6	86.3	86.1	85.8	85.5	85.3	85
13.10	2.50	16.40	88.3	88	87.8	87.5	87.2	86.9	86.7	86.4	86.1	85.8	85.6	85.3	85	84.7
16.20	3.00	15.90	88.1	87.8	87.5	87.3	87	86.7	86.4	86.1	85.8	85.6	85.3	85	84.7	84.4
19.40	3.50	15.50	87.9	87.6	87.3	87	86.7	86.4	86.2	85.9	85.6	85.3	85	84.7	84.4	84.1
22.80	4.00	15.00	87.7	87.4	87.1	86.8	86.5	86.2	85.9	85.6	85.3	85	84.7	84.4	84.1	83.8
26.40	4.50	14.60	87.4	87.1	86.8	86.5	86.2	85.9	85.6	85.3	85	84.7	84.4	84.1	83.8	83.4
30.30	5.00	14.20	87.2	86.8	86.5	86.2	85.9	85.6	85.3	85	84.7	84.3	84	83.7	83.4	83.1
34.40	5.50	13.70	86.9	86.6	86.2	85.9	85.6	85.3	85	84.6	84.3	84	83.7	83.3	83	82.7
38.80	6.00	13.30	86.6	86.3	85.9	85.6	85.3	84.9	84.6	84.3	83.9	83.6	83.3	82.9	82.6	82.3
43.50	6.50	12.80	86.3	85.9	85.6	85.3	84.9	84.6	84.2	83.9	83.6	83.2	82.9	82.5	82.2	81.8
48.50	7.00	12.40	85.9	85.6	85.2	84.9	84.5	84.2	83.8	83.5	83.1	82.8	82.4	82.1	81.7	81.4
53.90	7.50	11.90	85.6	85.2	84.9	84.5	84.1	83.8	83.4	83	82.7	82.3	81.9	81.6	81.2	80.8
59.70	8.00	11.50	85.2	84.8	84.5	84.1	83.7	83.3	82.9	82.6	82.2	81.8	81.4	81.1	80.7	80.3
65.90	8.50	11.10	84.8	84.4	84	83.6	83.2	82.8	82.4	82.1	81.7	81.3	80.9	80.5	80.1	79.7
72.70	9.00	10.60	84.3	83.9	83.5	83.1	82.7	82.3	81.9	81.5	81.1	80.7	80.3	79.9	79.5	79
80.10	9.50	10.20	83.8	83.4	83	82.6	82.2	81.7	81.3	80.9	80.5	80.1	79.6	79.2	78.8	78.3
88.10	10.00	9.70	83.3	82.9	82.4	82	81.6	81.1	80.7	80.2	79.8	79.4	78.9	78.5	78	77.6
96.90	10.50	9.30	82.7	82.3	81.8	81.4	80.9	80.4	80	79.5	79.1	78.6	78.1	77.7	77.2	76.7
106.60	11.00	8.80	82.1	81.6	81.1	80.6	80.2	79.7	79.2	78.7	78.2	77.8	77.3	76.8	76.3	75.8
117.30	11.50	8.40	81.4	80.9	80.4	79.9	79.4	78.9	78.4	77.8	77.3	76.8	76.3	75.8	75.3	74.8
129.20	12.00	8.00	80.6	80	79.5	79	78.5	77.9	77.4	76.9	76.3	75.8	75.3	74.7	74.2	73.7
142.50	12.50	7.50	79.7	79.1	78.6	78	77.5	76.9	76.3	75.8	75.2	74.7	74.1	73.5	73	72.4
157.50	13.00	7.10	78.7	78.1	77.5	76.9	76.3	75.7	75.2	74.6	74	73.4	72.8	72.2	71.6	71
174.40	13.50	6.60	77.6	76.9	76.3	75.7	75.1	74.4	73.8	73.2	72.5	71.9	71.3	70.6	70	69.4
193.80	14.00	6.20	76.3	75.6	74.9	74.3	73.6	72.9	72.3	71.6	70.9	70.2	69.6	68.9	68.2	67.5
216.10	14.50	5.80	74.8	74.1	73.4	72.6	71.9	71.2	70.5	69.8	69	68.3	67.6	66.9	66.1	65.4
242.20	15.00	5.30	73.1	72.3	71.5	70.7	70	69.2	68.4	67.6	66.8	66.1	65.3	64.5	63.7	62.9

تابع جدول(4-22)

COAL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY													
			FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580
0.00	0.00	18.60	85.7	85.5	85.2	85	84.7	84.5	84.2	83.9	83.7	83.4	83.2	82.9	82.7	82.4
2.40	0.50	18.10	85.5	85.2	85	84.7	84.5	84.2	83.9	83.7	83.4	83.2	82.9	82.6	82.4	82.1
4.80	1.00	17.70	85.2	85	84.7	84.5	84.2	83.9	83.7	83.4	83.1	82.9	82.6	82.3	82.1	81.8
7.50	1.50	17.20	85	84.7	84.5	84.2	83.9	83.6	83.4	83.1	82.8	82.6	82.3	82	81.7	81.5
10.20	2.00	16.80	84.7	84.4	84.2	83.9	83.6	83.3	83.1	82.8	82.5	82.2	82	81.7	81.4	81.1
13.10	2.50	16.40	84.4	84.2	83.9	83.6	83.3	83	82.7	82.5	82.2	81.9	81.6	81.3	81	80.8
16.20	3.00	15.90	84.1	83.9	83.6	83.3	83	82.7	82.4	82.1	81.8	81.5	81.2	81	80.7	80.4
19.40	3.50	15.50	83.8	83.5	83.2	82.9	82.6	82.3	82.1	81.8	81.5	81.2	80.9	80.6	80.3	80
22.80	4.00	15.00	83.5	83.2	82.9	82.6	82.3	82	81.7	81.4	81.1	80.8	80.4	80.1	79.8	79.5
26.40	4.50	14.60	83.1	82.8	82.5	82.2	81.9	81.6	81.3	81	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79.1
30.30	5.00	14.20	82.8	82.4	82.1	81.8	81.5	81.2	80.8	80.5	80.2	79.9	79.5	79.2	78.9	78.6
34.40	5.50	13.70	82.4	82	81.7	81.4	81	80.7	80.4	80.1	79.7	79.4	79.1	78.7	78.4	78.1
38.80	6.00	13.30	81.9	81.6	81.3	80.9	80.6	80.2	79.9	79.6	79.2	78.9	78.5	78.2	77.8	77.5
43.50	6.50	12.80	81.5	81.1	80.8	80.4	80.1	79.7	79.4	79	78.7	78.3	78	77.6	77.3	76.9
48.50	7.00	12.40	81	80.6	80.3	79.9	79.6	79.2	78.8	78.5	78.1	77.7	77.4	77	76.6	76.3
53.90	7.50	11.90	80.5	80.1	79.7	79.4	79	78.6	78.2	77.9	77.5	77.1	76.7	76.3	76	75.6
59.70	8.00	11.50	79.9	79.5	79.1	78.7	78.4	78	77.6	77.2	76.8	76.4	76	75.6	75.2	74.9
65.90	8.50	11.10	79.3	78.9	78.5	78.1	77.7	77.3	76.9	76.5	76.1	75.7	75.3	74.9	74.5	74.1
72.70	9.00	10.60	78.6	78.2	77.8	77.4	77	76.6	76.1	75.7	75.3	74.9	74.5	74	73.6	73.2
80.10	9.50	10.20	77.9	77.5	77.1	76.6	76.2	75.8	75.3	74.9	74.5	74	73.6	73.1	72.7	72.3
88.10	10.00	9.70	77.1	76.7	76.2	75.8	75.3	74.9	74.4	74	73.5	73.1	72.6	72.2	71.7	71.3
96.90	10.50	9.30	76.3	75.8	75.3	74.9	74.4	73.9	73.5	73	72.5	72	71.6	71.1	70.6	70.1
106.60	11.00	8.80	75.3	74.8	74.4	73.9	73.4	72.9	72.4	71.9	71.4	70.9	70.4	69.9	69.4	68.9
117.30	11.50	8.40	74.3	73.8	73.3	72.7	72.2	71.7	71.2	70.7	70.2	69.6	69.1	68.6	68.1	67.6
129.20	12.00	8.00	73.1	72.6	72.1	71.5	71	70.4	69.9	69.3	68.8	68.2	67.7	67.1	66.6	66
142.50	12.50	7.50	71.8	71.3	70.7	70.1	69.6	69	68.4	67.8	67.3	66.7	66.1	65.5	64.9	64.4
157.50	13.00	7.10	70.4	69.8	69.2	68.6	68	67.4	66.8	66.1	65.5	64.9	64.3	63.7	63.1	62.5
174.40	13.50	6.60	68.7	68.1	67.4	66.8	66.2	65.5	64.9	64.2	63.6	62.9	62.3	61.6	61	60.3
193.80	14.00	6.20	66.8	66.2	65.5	64.8	64.1	63.4	62.7	62	61.3	60.7	60	59.3	58.6	57.9
216.10	14.50	5.80	64.7	63.9	63.2	62.5	61.7	61	60.3	59.5	58.8	58	57.3	56.5	55.8	55
242.20	15.00	5.30	62.1	61.3	60.5	59.8	59	58.2	57.4	56.6	55.8	55	54.2	53.4	52.5	51.7

تابع جدول(4-22)

COAL

EXCESS AIR	% O_2	% CO_2	COMBUSTION EFFICIENCY													
			FLUE GAS TEMPERATURE LESS COMBUSTION AIR TEMPERATURE , DEG F													
			590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720
0.00	0.00	18.60	82.2	81.9	81.6	81.4	81.1	80.9	80.6	80.3	80.1	79.8	79.6	79.3	79	78.8
2.40	0.50	18.10	81.8	81.6	81.3	81.1	80.8	80.5	80.3	80	79.7	79.5	79.2	78.9	78.7	78.4
4.80	1.00	17.70	81.5	81.3	81	80.7	80.5	80.2	79.9	79.6	79.4	79.1	78.8	78.5	78.3	78
7.50	1.50	17.20	81.2	80.9	80.6	80.4	80.1	79.8	79.5	79.3	79	78.7	78.4	78.1	77.9	77.6
10.20	2.00	16.80	80.8	80.6	80.3	80	79.7	79.4	79.1	78.9	78.6	78.3	78	77.7	77.4	77.1
13.10	2.50	16.40	80.5	80.2	79.9	79.6	79.3	79	78.7	78.4	78.1	77.9	77.6	77.3	77	76.7
16.20	3.00	15.90	80.1	79.8	79.5	79.2	78.9	78.6	78.3	78	77.7	77.4	77.1	76.8	76.5	76.2
19.40	3.50	15.50	79.7	79.4	79	78.7	78.4	78.1	77.8	77.5	77.2	76.9	76.6	76.3	76	75.7
22.80	4.00	15.00	79.2	78.9	78.6	78.3	78	77.7	77.3	77	76.7	76.4	76.1	75.8	75.5	75.1
26.40	4.50	14.60	78.7	78.4	78.1	77.8	77.5	77.1	76.8	76.5	76.2	75.9	75.5	75.2	74.9	74.6
30.30	5.00	14.20	78.2	77.9	77.6	77.3	76.9	76.6	76.3	75.9	75.6	75.3	75	74.6	74.3	74
34.40	5.50	13.70	77.7	77.4	77	76.7	76.4	76	75.7	75.4	75	74.7	74.3	74	73.6	73.3
38.80	6.00	13.30	77.2	76.8	76.5	76.1	75.8	75.4	75.1	74.7	74.4	74	73.7	73.3	73	72.6
43.50	6.50	12.80	76.6	76.2	75.8	75.5	75.1	74.8	74.4	74	73.7	73.3	73	72.6	72.2	71.9
48.50	7.00	12.40	75.9	75.5	75.2	74.8	74.4	74.1	73.7	73.3	72.9	72.6	72.2	71.8	71.4	71.1
53.90	7.50	11.90	75.2	74.8	74.4	74.1	73.7	73.3	72.9	72.5	72.1	71.8	71.4	71	70.6	70.2
59.70	8.00	11.50	74.5	74.1	73.7	73.3	72.9	72.5	72.1	71.7	71.3	70.9	70.5	70.1	69.7	69.3
65.90	8.50	11.10	73.7	73.2	72.8	72.4	72	71.6	71.2	70.8	70.4	70	69.5	69.1	68.7	68.3
72.70	9.00	10.60	72.8	72.4	71.9	71.5	71.1	70.7	70.2	69.8	69.4	68.9	68.5	68.1	67.7	67.2
80.10	9.50	10.20	71.8	71.4	70.9	70.5	70.1	69.6	69.2	68.7	68.3	67.8	67.4	66.9	66.5	66
88.10	10.00	9.70	70.8	70.3	69.9	69.4	69	68.5	68	67.6	67.1	66.6	66.2	65.7	65.2	64.8
96.90	10.50	9.30	69.7	69.2	68.7	68.2	67.7	67.3	66.8	66.3	65.8	65.3	64.8	64.3	63.9	63.4
106.60	11.00	8.80	68.4	67.9	67.4	66.9	66.4	65.9	65.4	64.9	64.4	63.9	63.4	62.9	62.3	61.8
117.30	11.50	8.40	67	66.5	66	65.4	64.9	64.4	63.9	63.3	62.8	62.3	61.7	61.2	60.7	60.1
129.20	12.00	8.00	65.5	64.9	64.4	63.8	63.3	62.7	62.2	61.6	61	60.5	59.9	59.4	58.8	58.2
142.50	12.50	7.50	63.8	63.2	62.6	62	61.4	60.9	60.3	59.7	59.1	68.5	57.9	57.3	56.7	56.1
157.50	13.00	7.10	61.9	61.2	60.6	60	59.4	58.8	58.1	57.5	56.9	56.3	55.6	55	54.4	53.8
174.40	13.50	6.60	59.7	59	58.4	57.7	57	56.4	55.7	55.1	54.4	53.7	53.1	52.4	51.7	51.1
193.80	14.00	6.20	57.2	56.5	55.8	55.1	54.4	53.7	53	52.3	51.5	50.8	50.1	49.4	48.7	48
216.10	14.50	5.80	54.3	53.5	52.8	52	51.3	50.5	49.8	49	48.3	47.5	46.7	46	45.2	44.4
242.20	15.00	5.30	50.9	50.1	49.3	48.5	47.7	46.9	46.1	45.2	44.4	43.6	42.8	42	41.1	40.3

جدول (4-23) مفقودات العادم عند استخدام الغاز الطبيعى

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.0	0.0	11.7	12.1	12.2	12.4	12.6	12.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.5	13.7	13.9	14.0	14.2	14.4	14.5
2.2	0.5	11.4	12.1	12.3	12.5	12.6	12.8	13.0	13.1	13.3	13.5	13.6	13.8	14.0	14.1	14.3	14.5	14.6
4.4	1.0	11.1	12.2	12.4	12.5	12.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6	13.7	13.9	14.1	14.2	14.4	14.6	14.8
6.8	1.5	10.9	12.3	12.4	12.6	12.8	13.0	13.1	13.3	13.5	13.7	13.8	14.0	14.2	14.4	14.5	14.7	14.9
9.3	2.0	10.6	12.3	12.5	12.7	12.9	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.8	15.0
12.0	2.5	10.3	12.4	12.6	12.8	13.0	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2
14.8	3.0	10.0	12.5	12.7	12.9	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3
17.7	3.5	9.8	12.6	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5
20.8	4.0	9.5	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6
24.1	4.5	9.2	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8
27.6	5.0	8.9	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.4	15.6	15.8	16.0
31.4	5.5	8.6	12.9	13.1	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	16.0	16.2
35.4	6.0	8.4	13.0	13.2	13.5	13.7	13.9	14.1	14.4	14.6	14.8	15.0	15.3	15.5	15.7	15.9	16.2	16.4
39.6	6.5	8.1	13.1	13.4	13.6	13.8	14.1	14.3	14.5	14.8	15.0	15.2	15.5	15.7	15.9	16.2	16.4	16.6
44.2	7.0	7.8	13.3	13.5	13.7	14.0	14.2	14.5	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7	15.9	16.1	16.4	16.6	16.9
49.0	7.5	7.5	13.4	13.6	13.9	14.1	14.4	14.6	14.9	15.1	15.4	15.6	15.9	16.1	16.4	16.6	16.9	17.1
54.3	8.0	7.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.8	15.1	15.3	15.6	15.9	16.1	16.4	16.6	16.9	17.2	17.4
60.0	8.5	7.0	13.7	13.9	14.2	14.5	14.8	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.4	16.6	16.9	17.2	17.4	17.7
66.1	9.0	6.7	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.2	15.5	15.8	16.1	16.4	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.0
72.8	9.5	6.4	14.0	14.3	14.6	14.9	15.2	15.5	15.8	16.1	16.4	16.7	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.4
80.0	10.0	6.1	14.2	14.5	14.8	15.1	15.4	15.7	16.0	16.4	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8
88.0	10.5	5.9	14.4	14.8	15.1	15.4	15.7	16.0	16.3	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.3	18.6	18.9	19.2
96.7	11.0	5.6	14.7	15.0	15.3	15.7	16.0	16.3	16.7	17.0	17.3	17.7	18.0	18.4	18.7	19.0	19.4	19.7
106.3	11.5	5.3	14.9	15.3	15.6	16.0	16.3	16.7	17.0	17.4	17.7	18.1	18.4	18.8	19.2	19.5	19.9	20.2
117.0	12.0	5.0	15.2	15.6	16.0	16.3	16.7	17.1	17.4	17.8	18.2	18.6	18.9	19.3	19.7	20.0	20.4	20.8
128.9	12.5	4.7	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.6	21.0	21.4
142.3	13.0	4.5	15.9	16.3	16.7	17.2	17.6	18.0	18.4	18.8	19.2	19.7	20.1	20.5	20.9	21.3	21.7	22.2
157.4	13.5	4.2	16.3	16.8	17.2	17.6	18.1	18.5	19.0	19.4	19.9	20.3	20.8	21.2	21.6	22.1	22.5	23.0
174.6	14.0	3.9	16.8	17.3	17.7	18.2	18.7	19.2	19.6	20.1	20.6	21.1	21.5	22.0	22.5	23.0	23.4	23.9
194.4	14.5	3.6	17.3	17.8	18.4	18.9	19.4	19.9	20.4	20.9	21.4	21.9	22.4	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0
217.4	15.0	3.3	18.0	18.5	19.1	19.6	20.2	20.7	21.3	21.8	22.4	22.9	23.5	24.1	24.6	25.2	25.7	26.3
244.4	15.5	3.1	18.7	19.3	19.9	20.5	21.1	21.7	22.3	22.9	23.5	24.1	24.7	25.4	26.0	26.6	27.2	27.8
276.7	16.0	2.8	19.6	20.3	20.9	21.6	22.3	22.9	23.6	24.3	24.9	25.6	26.2	26.9	27.6	28.2	28.9	29.6

تابع جدول (4-23)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F — EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450
0.0	0.0	11.7	14.5	14.7	14.8	15.0	15.2	15.3	15.5	15.7	15.8	16.0	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0
2.2	0.5	11.4	14.6	14.8	15.0	15.1	15.3	15.5	15.6	15.8	16.0	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	17.1
4.4	1.0	11.1	14.8	14.9	15.1	15.3	15.4	15.6	15.8	15.9	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	17.1	17.3
6.8	1.5	10.9	14.9	15.1	15.2	15.4	15.6	15.8	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.1	17.3	17.5
9.3	2.0	10.6	15.0	15.2	15.4	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.3	17.5	17.7
12.0	2.5	10.3	15.2	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.5	17.7	17.9
14.8	3.0	10.0	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	17.9	18.1
17.7	3.5	9.8	15.5	15.7	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4
20.8	4.0	9.5	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.6
24.1	4.5	9.2	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9
27.6	5.0	8.9	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.2
31.4	5.5	8.6	16.2	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.4	18.6	18.8	19.0	19.2	19.5
35.4	6.0	8.4	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	18.0	18.2	18.4	18.6	18.9	19.1	19.3	19.5	19.8
39.6	6.5	8.1	16.6	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.0	18.3	18.5	18.7	19.0	19.2	19.4	19.6	19.9	20.1
44.2	7.0	7.8	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.1	18.3	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5	19.8	20.0	20.2	20.5
49.0	7.5	7.5	17.1	17.4	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6	18.9	19.1	19.4	19.6	19.9	20.1	20.4	20.6	20.9
54.3	8.0	7.2	17.4	17.7	17.9	18.2	18.4	18.7	19.0	19.2	19.5	19.7	20.0	20.3	20.5	20.8	21.0	21.3
60.0	8.5	7.0	17.7	18.0	18.3	18.5	18.8	19.1	19.3	19.6	19.9	20.1	20.4	20.7	20.9	21.2	21.5	21.7
66.1	9.0	6.7	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.2
72.8	9.5	6.4	18.4	18.7	19.0	19.3	19.6	19.9	20.2	20.4	20.7	21.0	21.3	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8
80.0	10.0	6.1	18.8	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.9	21.2	21.5	21.8	22.1	22.4	22.8	23.1	23.4
88.0	10.5	5.9	19.2	19.5	19.9	20.2	20.5	20.8	21.1	21.5	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.4	23.7	24.0
96.7	11.0	5.6	19.7	20.0	20.4	20.7	21.0	21.4	21.7	22.0	22.4	22.7	23.0	23.4	23.7	24.0	24.4	24.7
106.3	11.5	5.3	20.2	20.6	20.9	21.3	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0	23.4	23.7	24.1	24.4	24.8	25.1	25.5
117.0	12.0	5.0	20.8	21.2	21.5	21.9	22.3	22.6	23.0	23.4	23.8	24.1	24.5	24.9	25.2	25.6	26.0	26.4
128.9	12.5	4.7	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0	23.4	23.8	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.1	26.5	26.9	27.3
142.3	13.0	4.5	22.2	22.6	23.0	23.4	23.8	24.2	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.2	27.6	28.0	28.4
157.4	13.5	4.2	23.0	23.4	23.9	24.3	24.8	25.2	25.6	26.1	26.5	27.0	27.4	27.9	28.3	28.8	29.2	29.6
174.6	14.0	3.9	23.9	24.4	24.9	25.3	25.8	26.3	26.8	27.3	27.7	28.2	28.7	29.2	29.6	30.1	30.6	31.1
194.4	14.5	3.6	25.0	25.5	26.0	26.5	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.1	31.7	32.2	32.7
217.4	15.0	3.3	26.3	26.8	27.4	27.9	28.5	29.0	29.6	30.2	30.7	31.3	31.8	32.4	32.9	33.5	34.0	34.6
244.4	15.5	3.1	27.8	28.4	29.0	29.6	30.2	30.8	31.4	32.0	32.6	33.2	33.8	34.4	35.0	35.6	36.2	36.8
276.7	16.0	2.8	29.6	30.2	30.9	31.6	32.2	32.9	33.5	34.2	34.9	35.5	36.2	36.9	37.5	38.2	38.9	39.5

تابع جدول (4-23)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F — EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
0.0	0.0	11.7	17.0	17.1	17.3	17.4	17.6	17.8	17.9	18.1	18.3	18.4	18.6	18.7	18.9	19.1	19.2	19.4
2.2	0.5	11.4	17.1	17.3	17.5	17.6	17.8	18.0	18.1	18.3	18.5	18.6	18.8	19.0	19.1	19.3	19.5	19.6
4.4	1.0	11.1	17.3	17.5	17.6	17.8	18.0	18.2	18.3	18.5	18.7	18.8	19.0	19.2	19.3	19.5	19.7	19.9
6.8	1.5	10.9	17.5	17.7	17.8	18.0	18.2	18.4	18.5	18.7	18.9	19.1	19.2	19.4	19.6	19.8	19.9	20.1
9.3	2.0	10.6	17.7	17.9	18.1	18.2	18.4	18.6	18.8	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.8	20.0	20.2	20.4
12.0	2.5	10.3	17.9	18.1	18.3	18.5	18.6	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7
14.8	3.0	10.0	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0
17.7	3.5	9.8	18.4	18.6	18.8	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
20.8	4.0	9.5	18.6	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6
24.1	4.5	9.2	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	22.0
27.6	5.0	8.9	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3
31.4	5.5	8.6	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7
35.4	6.0	8.4	19.8	20.0	20.2	20.4	20.7	20.9	21.1	21.3	21.6	21.8	22.0	22.2	22.5	22.7	22.9	23.1
39.6	6.5	8.1	20.1	20.3	20.6	20.8	21.0	21.3	21.5	21.7	22.0	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.4	23.6
44.2	7.0	7.8	20.5	20.7	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9	22.2	22.4	22.6	22.9	23.1	23.4	23.6	23.8	24.1
49.0	7.5	7.5	20.9	21.1	21.4	21.6	21.9	22.1	22.4	22.6	22.9	23.1	23.4	23.6	23.9	24.1	24.4	24.6
54.3	8.0	7.2	21.3	21.6	21.8	22.1	22.3	22.6	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9	24.1	24.4	24.7	24.9	25.2
60.0	8.5	7.0	21.7	22.0	22.3	22.6	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9	24.2	24.4	24.7	25.0	25.2	25.5	25.8
66.1	9.0	6.7	22.2	22.5	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9	24.2	24.5	24.8	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2	26.4
72.8	9.5	6.4	22.8	23.1	23.4	23.7	23.9	24.2	24.5	24.8	25.1	25.4	25.7	26.0	26.3	26.6	26.9	27.2
80.0	10.0	6.1	23.4	23.7	24.0	24.3	24.6	24.9	25.2	25.5	25.8	26.1	26.4	26.7	27.0	27.3	27.6	27.9
88.0	10.5	5.9	24.0	24.3	24.6	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2	26.6	26.9	27.2	27.5	27.8	28.2	28.5	28.8
96.7	11.0	5.6	24.7	25.0	25.4	25.7	26.0	26.4	26.7	27.1	27.4	27.7	28.1	28.4	28.7	29.1	29.4	29.7
106.3	11.5	5.3	25.5	25.8	26.2	26.5	26.9	27.3	27.6	28.0	28.3	28.7	29.0	29.4	29.7	30.1	30.4	30.8
117.0	12.0	5.0	26.4	26.7	27.1	27.5	27.8	28.2	28.6	29.0	29.3	29.7	30.1	30.4	30.8	31.2	31.6	31.9
128.9	12.5	4.7	27.3	27.7	28.1	28.5	28.9	29.3	29.7	30.1	30.5	30.9	31.3	31.6	32.0	32.4	32.8	33.2
142.3	13.0	4.5	28.4	28.8	29.2	29.7	30.1	30.5	30.9	31.3	31.7	32.2	32.6	33.0	33.4	33.8	34.3	34.7
157.4	13.5	4.2	29.6	30.1	30.5	31.0	31.4	31.9	32.3	32.8	33.2	33.6	34.1	34.5	35.0	35.4	35.9	36.3
174.6	14.0	3.9	31.1	31.5	32.0	32.5	33.0	33.4	33.9	34.4	34.9	35.3	35.8	36.3	36.8	37.2	37.7	38.2
194.4	14.5	3.6	32.7	33.2	33.7	34.2	34.7	35.2	35.8	36.3	36.8	37.3	37.8	38.3	38.8	39.3	39.9	40.4
217.4	15.0	3.3	34.6	35.1	35.7	36.2	36.8	37.4	37.9	38.5	39.0	39.6	40.1	40.7	41.2	41.8	42.3	42.9
244.4	15.5	3.1	36.8	37.4	38.0	38.6	39.2	39.8	40.5	41.1	41.7	42.3	42.9	43.5	44.1	44.7	45.3	45.9
276.7	16.0	2.8	39.5	40.2	40.8	41.5	42.2	42.8	43.5	44.2	44.8	45.5	46.2	46.8	47.5	48.2	48.8	49.5

تابع جدول (4-23)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
0.0	0.0	11.7	19.4	19.5	19.7	19.9	20.0	20.2	20.4	20.5	20.7	20.8	21.0	21.2	21.3	21.5	21.7	21.8
2.2	0.5	11.4	19.6	19.8	19.9	20.1	20.3	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	21.9	22.1
4.4	1.0	11.1	19.9	20.0	20.2	20.4	20.5	20.7	20.9	21.0	21.2	21.4	21.6	21.7	21.9	22.1	22.2	22.4
6.8	1.5	10.9	20.1	20.3	20.5	20.6	20.8	21.0	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.0	22.2	22.4	22.6	22.7
9.3	2.0	10.6	20.4	20.6	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.8	22.0	22.2	22.3	22.5	22.7	22.9	23.1
12.0	2.5	10.3	20.7	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.0	23.2	23.4
14.8	3.0	10.0	21.0	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.8	23.0	23.2	23.4	23.6	23.8
17.7	3.5	9.8	21.3	21.5	21.7	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2
20.8	4.0	9.5	21.6	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
24.1	4.5	9.2	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6	24.8	25.0
27.6	5.0	8.9	22.3	22.5	22.7	23.0	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.7	24.9	25.1	25.3	25.5
31.4	5.5	8.6	22.7	22.9	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.5	24.7	24.9	25.1	25.3	25.6	25.8	26.0
35.4	6.0	8.4	23.1	23.4	23.6	23.8	24.0	24.3	24.5	24.7	24.9	25.2	25.4	25.6	25.8	26.1	26.3	26.5
39.6	6.5	8.1	23.6	23.8	24.1	24.3	24.5	24.8	25.0	25.2	25.5	25.7	25.9	26.2	26.4	26.6	26.9	27.1
44.2	7.0	7.8	24.1	24.3	24.6	24.8	25.1	25.3	25.5	25.8	26.0	26.3	26.5	26.7	27.0	27.2	27.5	27.7
49.0	7.5	7.5	24.6	24.9	25.1	25.4	25.6	25.9	26.1	26.4	26.6	26.9	27.1	27.4	27.6	27.9	28.1	28.4
54.3	8.0	7.2	25.2	25.4	25.7	26.0	26.2	26.5	26.7	27.0	27.2	27.5	27.8	28.0	28.3	28.5	28.8	29.1
60.0	8.5	7.0	25.8	26.1	26.3	26.6	26.9	27.1	27.4	27.7	27.9	28.2	28.5	28.7	29.0	29.3	29.5	29.8
66.1	9.0	6.7	26.4	26.7	27.0	27.3	27.6	27.8	28.1	28.4	28.7	29.0	29.2	29.5	29.8	30.1	30.4	30.6
72.8	9.5	6.4	27.2	27.4	27.7	28.0	28.3	28.6	28.9	29.2	29.5	29.8	30.1	30.4	30.7	30.9	31.2	31.5
80.0	10.0	6.1	27.9	28.2	28.5	28.9	29.2	29.5	29.8	30.1	30.4	30.7	31.0	31.3	31.6	31.9	32.2	32.5
88.0	10.5	5.9	28.8	29.1	29.4	29.7	30.1	30.4	30.7	31.0	31.3	31.7	32.0	32.3	32.6	32.9	33.3	33.6
96.7	11.0	5.6	29.7	30.1	30.4	30.7	31.1	31.4	31.7	32.1	32.4	32.7	33.1	33.4	33.7	34.1	34.4	34.8
106.3	11.5	5.3	30.8	31.1	31.5	31.8	32.2	32.5	32.9	33.2	33.6	33.9	34.3	34.6	35.0	35.3	35.7	36.1
117.0	12.0	5.0	31.9	32.3	32.7	33.0	33.4	33.8	34.2	34.5	34.9	35.3	35.6	36.0	36.4	36.8	37.1	37.5
128.9	12.5	4.7	33.2	33.6	34.0	34.4	34.8	35.2	35.6	36.0	36.4	36.8	37.1	37.5	37.9	38.3	38.7	39.1
142.3	13.0	4.5	34.7	35.1	35.5	35.9	36.3	36.8	37.2	37.6	38.0	38.4	38.8	39.3	39.7	40.1	40.5	40.9
157.4	13.5	4.2	36.3	36.8	37.2	37.6	38.1	38.5	39.0	39.4	39.9	40.3	40.8	41.2	41.6	42.1	42.5	43.0
174.6	14.0	3.9	38.2	38.7	39.1	39.6	40.1	40.6	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.4	43.9	44.4	44.9	45.3
194.4	14.5	3.6	40.4	40.9	41.4	41.9	42.4	42.9	43.4	43.9	44.5	45.0	45.5	46.0	46.5	47.0	47.5	48.0
217.4	15.0	3.3	42.9	43.5	44.0	44.6	45.1	45.7	46.2	46.8	47.3	47.9	48.4	49.0	49.5	50.1	50.7	51.2
244.4	15.5	3.1	45.9	46.5	47.1	47.7	48.3	48.9	49.5	50.1	50.7	51.3	51.9	52.5	53.1	53.7	54.3	54.9
276.7	16.0	2.8	49.5	50.1	50.8	51.5	52.1	52.8	53.5	54.1	54.8	55.5	56.1	56.8	57.4	58.1	58.8	59.4

تابع جدول (4-23)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900
0.0	0.0	11.7	21.8	22.0	22.1	22.3	22.5	22.6	22.8	23.0	23.1	23.3	23.4	23.6	23.8	23.9	24.1	24.3
2.2	0.5	11.4	22.1	22.3	22.4	22.6	22.8	22.9	23.1	23.3	23.4	23.6	23.8	23.9	24.1	24.3	24.4	24.6
4.4	1.0	11.1	22.4	22.6	22.8	22.9	23.1	23.3	23.4	23.6	23.8	23.9	24.1	24.3	24.5	24.6	24.8	25.0
6.8	1.5	10.9	22.7	22.9	23.1	23.2	23.4	23.6	23.8	23.9	24.1	24.3	24.5	24.6	24.8	25.0	25.2	25.3
9.3	2.0	10.6	23.1	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.1	24.3	24.5	24.7	24.8	25.0	25.2	25.4	25.6	25.7
12.0	2.5	10.3	23.4	23.6	23.8	24.0	24.1	24.3	24.5	24.7	24.9	25.1	25.2	25.4	25.6	25.8	26.0	26.2
14.8	3.0	10.0	23.8	24.0	24.2	24.3	24.5	24.7	24.9	25.1	25.3	25.5	25.7	25.9	26.0	26.2	26.4	26.6
17.7	3.5	9.8	24.2	24.4	24.6	24.8	24.9	25.1	25.3	25.5	25.7	25.9	26.1	26.3	26.5	26.7	26.9	27.1
20.8	4.0	9.5	24.6	24.8	25.0	25.2	25.4	25.6	25.8	26.0	26.2	26.4	26.6	26.8	27.0	27.2	27.4	27.6
24.1	4.5	9.2	25.0	25.2	25.4	25.6	25.8	26.1	26.3	26.5	26.7	26.9	27.1	27.3	27.5	27.7	27.9	28.1
27.6	5.0	8.9	25.5	25.7	25.9	26.1	26.3	26.6	26.8	27.0	27.2	27.4	27.6	27.8	28.0	28.2	28.5	28.7
31.4	5.5	8.6	26.0	26.2	26.4	26.6	26.9	27.1	27.3	27.5	27.7	28.0	28.2	28.4	28.6	28.8	29.0	29.3
35.4	6.0	8.4	26.5	26.7	27.0	27.2	27.4	27.6	27.9	28.1	28.3	28.5	28.8	29.0	29.2	29.4	29.7	29.9
39.6	6.5	8.1	27.1	27.3	27.6	27.8	28.0	28.3	28.5	28.7	29.0	29.2	29.4	29.7	29.9	30.1	30.3	30.6
44.2	7.0	7.8	27.7	27.9	28.2	28.4	28.7	28.9	29.1	29.4	29.6	29.9	30.1	30.3	30.6	30.8	31.1	31.3
49.0	7.5	7.5	28.4	28.6	28.9	29.1	29.4	29.6	29.8	30.1	30.3	30.6	30.8	31.1	31.3	31.6	31.8	32.1
54.3	8.0	7.2	29.1	29.3	29.6	29.8	30.1	30.3	30.6	30.9	31.1	31.4	31.6	31.9	32.2	32.4	32.7	32.9
60.0	8.5	7.0	29.8	30.1	30.4	30.6	30.9	31.2	31.4	31.7	32.0	32.2	32.5	32.8	33.0	33.3	33.6	33.8
66.1	9.0	6.7	30.6	30.9	31.2	31.5	31.8	32.0	32.3	32.6	32.9	33.2	33.4	33.7	34.0	34.3	34.6	34.8
72.8	9.5	6.4	31.5	31.8	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	33.9	34.2	34.5	34.7	35.0	35.3	35.6	35.9
80.0	10.0	6.1	32.5	32.8	33.1	33.4	33.7	34.0	34.3	34.6	34.9	35.3	35.6	35.9	36.2	36.5	36.8	37.1
88.0	10.5	5.9	33.6	33.9	34.2	34.5	34.9	35.2	35.5	35.8	36.1	36.4	36.8	37.1	37.4	37.7	38.0	38.4
96.7	11.0	5.6	34.8	35.1	35.4	35.8	36.1	36.4	36.8	37.1	37.4	37.8	38.1	38.4	38.8	39.1	39.4	39.8
106.3	11.5	5.3	36.1	36.4	36.8	37.1	37.5	37.8	38.2	38.5	38.9	39.2	39.6	39.9	40.3	40.6	41.0	41.3
117.0	12.0	5.0	37.5	37.9	38.2	38.6	39.0	39.4	39.7	40.1	40.5	40.8	41.2	41.6	42.0	42.3	42.7	43.1
128.9	12.5	4.7	39.1	39.5	39.9	40.3	40.7	41.1	41.5	41.9	42.3	42.6	43.0	43.4	43.8	44.2	44.6	45.0
142.3	13.0	4.5	40.9	41.3	41.8	42.2	42.6	43.0	43.4	43.8	44.3	44.7	45.1	45.5	45.9	46.3	46.8	47.2
157.4	13.5	4.2	43.0	43.4	43.9	44.3	44.8	45.2	45.6	46.1	46.5	47.0	47.4	47.9	48.3	48.8	49.2	49.6
174.6	14.0	3.9	45.3	45.8	46.3	46.8	47.2	47.7	48.2	48.7	49.1	49.6	50.1	50.6	51.0	51.5	52.0	52.5
194.4	14.5	3.6	48.0	48.6	49.1	49.6	50.1	50.6	51.1	51.6	52.1	52.7	53.2	53.7	54.2	54.7	55.2	55.7
217.4	15.0	3.3	51.2	51.8	52.3	52.9	53.4	54.0	54.5	55.1	55.6	56.2	56.8	57.3	57.9	58.4	59.0	59.5
244.4	15.5	3.1	54.9	55.6	56.2	56.8	57.4	58.0	58.6	59.2	59.8	60.4	61.0	61.6	62.2	62.8	63.4	64.0
276.7	16.0	2.8	59.4	60.1	60.8	61.4	62.1	62.8	63.4	64.1	64.7	65.4	66.1	66.7	67.4	68.1	68.7	69.4

جدول (4-24) مفقودات العادم لزيت الوقود رقم (2)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.0	0.0	15.7	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.7	9.9	10.1	10.3	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.3	11.5
2.3	0.5	15.3	8.9	9.1	9.3	9.5	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.6
4.6	1.0	15.0	9.0	9.2	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8
7.1	1.5	14.6	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9
9.8	2.0	14.2	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1
12.5	2.5	13.8	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2
15.5	3.0	13.5	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	12.0	12.2	12.4
18.5	3.5	13.1	9.3	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5
21.8	4.0	12.7	9.4	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.1	12.3	12.5	12.7
25.3	4.5	12.3	9.5	9.8	10.0	10.2	10.4	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6	11.8	12.0	12.2	12.5	12.7	12.9
29.0	5.0	12.0	9.6	9.9	10.1	10.3	10.6	10.8	11.0	11.3	11.5	11.7	11.9	12.2	12.4	12.6	12.9	13.1
32.9	5.5	11.6	9.7	10.0	10.2	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.9	12.1	12.4	12.6	12.8	13.1	13.3
37.0	6.0	11.2	9.9	10.1	10.3	10.6	10.8	11.1	11.3	11.6	11.8	12.1	12.3	12.6	12.8	13.1	13.3	13.5
41.5	6.5	10.8	10.0	10.2	10.5	10.7	11.0	11.2	11.5	11.8	12.0	12.3	12.5	12.8	13.0	13.3	13.5	13.8
46.2	7.0	10.5	10.1	10.4	10.6	10.9	11.2	11.4	11.7	11.9	12.2	12.5	12.7	13.0	13.3	13.5	13.8	14.1
51.4	7.5	10.1	10.2	10.5	10.8	11.1	11.3	11.6	11.9	12.2	12.4	12.7	13.0	13.2	13.5	13.8	14.1	14.3
56.9	8.0	9.7	10.4	10.7	11.0	11.2	11.5	11.8	12.1	12.4	12.7	12.9	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.6
62.8	8.5	9.3	10.6	10.9	11.1	11.4	11.7	12.0	12.3	12.6	12.9	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0
69.2	9.0	9.0	10.7	11.0	11.4	11.7	12.0	12.3	12.6	12.9	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3
76.2	9.5	8.6	10.9	11.3	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.2	13.5	13.8	14.1	14.4	14.8	15.1	15.4	15.7
83.8	10.0	8.2	11.1	11.5	11.8	12.1	12.5	12.8	13.1	13.5	13.8	14.1	14.5	14.8	15.1	15.5	15.8	16.1
92.1	10.5	7.9	11.4	11.7	12.1	12.4	12.8	13.1	13.5	13.8	14.2	14.5	14.8	15.2	15.5	15.9	16.2	16.6
101.2	11.0	7.5	11.6	12.0	12.4	12.7	13.1	13.4	13.8	14.2	14.5	14.9	15.3	15.6	16.0	16.4	16.7	17.1
111.3	11.5	7.1	11.9	12.3	12.7	13.1	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7
122.5	12.0	6.7	12.2	12.6	13.0	13.4	13.8	14.2	14.6	15.0	15.4	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3
134.9	12.5	6.4	12.6	13.0	13.4	13.8	14.3	14.7	15.1	15.6	16.0	16.4	16.8	17.3	17.7	18.1	18.5	19.0
148.9	13.0	6.0	13.0	13.4	13.9	14.3	14.8	15.2	15.7	16.1	16.6	17.0	17.5	17.9	18.4	18.8	19.3	19.8
164.7	13.5	5.6	13.4	13.9	14.4	14.8	15.3	15.8	16.3	16.8	17.3	17.7	18.2	18.7	19.2	19.7	20.2	20.6
182.7	14.0	5.2	13.9	14.4	14.9	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.6	19.1	19.6	20.1	20.6	21.1	21.7
203.4	14.5	4.9	14.5	15.0	15.6	16.2	16.7	17.3	17.8	18.4	18.9	19.5	20.0	20.6	21.2	21.7	22.3	22.8
227.5	15.0	4.5	15.2	15.8	16.4	17.0	17.6	18.2	18.8	19.4	20.0	20.6	21.2	21.8	22.4	23.0	23.6	24.2
255.8	15.5	4.1	16.0	16.6	17.3	17.9	18.6	19.3	19.9	20.6	21.2	21.9	22.5	23.2	23.8	24.5	25.1	25.8
289.5	16.0	3.7	16.9	17.7	18.4	19.1	19.8	20.5	21.3	22.0	22.7	23.4	24.1	24.9	25.6	26.3	27.0	27.7

تابع جدول (4-24)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450
0.0	0.0	15.7	11.5	11.7	11.9	12.1	12.2	12.4	12.6	12.8	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.8	14.0	14.2
2.3	0.5	15.3	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.8	14.0	14.2	14.4
4.6	1.0	15.0	11.8	12.0	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6
7.1	1.5	14.6	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8
9.8	2.0	14.2	12.1	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0
12.5	2.5	13.8	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2
15.5	3.0	13.5	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.1	15.3	15.5
18.5	3.5	13.1	12.5	12.7	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7
21.8	4.0	12.7	12.7	12.9	13.1	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.6	15.8	16.0
25.3	4.5	12.3	12.9	13.1	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.5	14.7	14.9	15.1	15.4	15.6	15.8	16.0	16.3
29.0	5.0	12.0	13.1	13.3	13.6	13.8	14.0	14.3	14.5	14.7	15.0	15.2	15.4	15.6	15.9	16.1	16.3	16.6
32.9	5.5	11.6	13.3	13.6	13.8	14.0	14.3	14.5	14.7	15.0	15.2	15.5	15.7	15.9	16.2	16.4	16.7	16.9
37.0	6.0	11.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.5	14.8	15.0	15.3	15.5	15.8	16.0	16.3	16.5	16.7	17.0	17.2
41.5	6.5	10.8	13.8	14.0	14.3	14.6	14.8	15.1	15.3	15.6	15.8	16.1	16.3	16.6	16.8	17.1	17.4	17.6
46.2	7.0	10.5	14.1	14.3	14.6	14.8	15.1	15.4	15.6	15.9	16.2	16.4	16.7	16.9	17.2	17.5	17.7	18.0
51.4	7.5	10.1	14.3	14.6	14.9	15.2	15.4	15.7	16.0	16.2	16.5	16.8	17.1	17.3	17.6	17.9	18.1	18.4
56.9	8.0	9.7	14.6	14.9	15.2	15.5	15.8	16.1	16.3	16.6	16.9	17.2	17.5	17.7	18.0	18.3	18.6	18.9
62.8	8.5	9.3	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1	19.4
69.2	9.0	9.0	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8	17.2	17.5	17.8	18.1	18.4	18.7	19.0	19.3	19.6	19.9
76.2	9.5	8.6	15.7	16.0	16.3	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.3	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	20.2	20.5
83.8	10.0	8.2	16.1	16.5	16.8	17.1	17.5	17.8	18.1	18.5	18.8	19.1	19.4	19.8	20.1	20.4	20.8	21.1
92.1	10.5	7.9	16.6	16.9	17.3	17.6	18.0	18.3	18.7	19.0	19.4	19.7	20.1	20.4	20.8	21.1	21.5	21.8
101.2	11.0	7.5	17.1	17.5	17.8	18.2	18.6	18.9	19.3	19.6	20.0	20.4	20.7	21.1	21.5	21.8	22.2	22.6
111.3	11.5	7.1	17.7	18.0	18.4	18.8	19.2	19.6	20.0	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.2	22.6	23.0	23.4
122.5	12.0	6.7	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.5	23.9	24.3
134.9	12.5	6.4	19.0	19.4	19.8	20.3	20.7	21.1	21.5	22.0	22.4	22.8	23.2	23.7	24.1	24.5	24.9	25.4
148.9	13.0	6.0	19.8	20.2	20.7	21.1	21.6	22.0	22.5	22.9	23.4	23.8	24.3	24.7	25.2	25.6	26.1	26.5
164.7	13.5	5.6	20.6	21.1	21.6	22.1	22.6	23.1	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	25.9	26.4	26.9	27.4	27.9
182.7	14.0	5.2	21.7	22.2	22.7	23.2	23.7	24.2	24.8	25.3	25.8	26.3	26.8	27.3	27.8	28.4	28.9	29.4
203.4	14.5	4.9	22.8	23.4	23.9	24.5	25.0	25.6	26.2	26.7	27.3	27.8	28.4	28.9	29.5	30.0	30.6	31.2
227.5	15.0	4.5	24.2	24.8	25.4	26.0	26.6	27.2	27.8	28.4	29.0	29.6	30.2	30.8	31.4	32.0	32.6	33.2
255.8	15.5	4.1	25.8	26.5	27.1	27.8	28.4	29.1	29.7	30.4	31.0	31.7	32.3	33.0	33.7	34.3	35.0	35.6
289.5	16.0	3.7	27.7	28.5	29.2	29.9	30.6	31.3	32.0	32.8	33.5	34.2	34.9	35.6	36.4	37.1	37.8	38.5

تابع جدول (4-24)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
0.0	0.0	15.7	14.2	14.4	14.6	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.6	15.8	16.0	16.2	16.3	16.5	16.7	16.9
2.3	0.5	15.3	14.4	14.6	14.8	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	16.9	17.1
4.6	1.0	15.0	14.6	14.8	15.0	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4
7.1	1.5	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.5	17.7
9.8	2.0	14.2	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.7	17.9
12.5	2.5	13.8	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2
15.5	3.0	13.5	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.2	18.4	18.6
18.5	3.5	13.1	15.7	15.9	16.1	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9
21.8	4.0	12.7	16.0	16.2	16.4	16.6	16.9	17.1	17.3	17.5	17.7	18.0	18.2	18.4	18.6	18.8	19.0	19.3
25.3	4.5	12.3	16.3	16.5	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6	17.8	18.1	18.3	18.5	18.7	19.0	19.2	19.4	19.6
29.0	5.0	12.0	16.6	16.8	17.0	17.3	17.5	17.7	18.0	18.2	18.4	18.7	18.9	19.1	19.4	19.6	19.8	20.0
32.9	5.5	11.6	16.9	17.1	17.4	17.6	17.9	18.1	18.3	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5	19.8	20.0	20.2	20.5
37.0	6.0	11.2	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.5	18.7	19.0	19.2	19.5	19.7	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9
41.5	6.5	10.8	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6	18.9	19.1	19.4	19.6	19.9	20.1	20.4	20.7	20.9	21.2	21.4
46.2	7.0	10.5	18.0	18.3	18.5	18.8	19.1	19.3	19.6	19.8	20.1	20.4	20.6	20.9	21.2	21.4	21.7	21.9
51.4	7.5	10.1	18.4	18.7	19.0	19.2	19.5	19.8	20.1	20.3	20.6	20.9	21.1	21.4	21.7	22.0	22.2	22.5
56.9	8.0	9.7	18.9	19.2	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.9	21.1	21.4	21.7	22.0	22.3	22.5	22.8	23.1
62.8	8.5	9.3	19.4	19.7	20.0	20.2	20.5	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.3	22.6	22.9	23.2	23.5	23.8
69.2	9.0	9.0	19.9	20.2	20.5	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.3	22.6	23.0	23.3	23.6	23.9	24.2	24.5
76.2	9.5	8.6	20.5	20.8	21.1	21.4	21.7	22.1	22.4	22.7	23.0	23.3	23.7	24.0	24.3	24.6	24.9	25.2
83.8	10.0	8.2	21.1	21.4	21.8	22.1	22.4	22.8	23.1	23.4	23.8	24.1	24.4	24.8	25.1	25.4	25.8	26.1
92.1	10.5	7.9	21.8	22.1	22.5	22.8	23.2	23.5	23.9	24.2	24.6	24.9	25.3	25.6	26.0	26.3	26.7	27.0
101.2	11.0	7.5	22.6	22.9	23.3	23.7	24.0	24.4	24.7	25.1	25.5	25.8	26.2	26.6	26.9	27.3	27.7	28.0
111.3	11.5	7.1	23.4	23.8	24.2	24.5	24.9	25.3	25.7	26.1	26.5	26.8	27.2	27.6	28.0	28.4	28.8	29.1
122.5	12.0	6.7	24.3	24.7	25.1	25.5	25.9	26.4	26.8	27.2	27.6	28.0	28.4	28.8	29.2	29.6	30.0	30.4
134.9	12.5	6.4	25.4	25.8	26.2	26.7	27.1	27.5	27.9	28.4	28.8	29.2	29.6	30.1	30.5	30.9	31.4	31.8
148.9	13.0	6.0	26.5	27.0	27.5	27.9	28.4	28.8	29.3	29.7	30.2	30.6	31.1	31.5	32.0	32.4	32.9	33.3
164.7	13.5	5.6	27.9	28.4	28.8	29.3	29.8	30.3	30.8	31.3	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.6	35.1
182.7	14.0	5.2	29.4	29.9	30.4	30.9	31.5	32.0	32.5	33.0	33.5	34.0	34.6	35.1	35.6	36.1	36.6	37.1
203.4	14.5	4.9	31.2	31.7	32.3	32.8	33.4	33.9	34.5	35.0	35.6	36.1	36.7	37.3	37.8	38.4	38.9	39.5
227.5	15.0	4.5	33.2	33.8	34.4	35.0	35.6	36.2	36.8	37.4	38.0	38.6	39.2	39.8	40.4	41.0	41.6	42.2
255.8	15.5	4.1	35.6	36.3	36.9	37.6	38.2	38.9	39.5	40.2	40.9	41.5	42.2	42.8	43.5	44.1	44.8	45.4
289.5	16.0	3.7	38.5	39.2	40.0	40.7	41.4	42.1	42.8	43.5	44.3	45.0	45.7	46.4	47.1	47.9	48.6	49.3

تابع جدول (24-4)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F — EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
0.0	0.0	15.7	16.9	17.1	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.1	18.3	18.5	18.7	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6
2.3	0.5	15.3	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.0	18.2	18.4	18.6	18.8	19.0	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9
4.6	1.0	15.0	17.4	17.6	17.8	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2
7.1	1.5	14.6	17.7	17.9	18.0	18.2	18.4	18.6	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.3	20.5
9.8	2.0	14.2	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9
12.5	2.5	13.8	18.2	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3
15.5	3.0	13.5	18.6	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.3	21.5	21.7
18.5	3.5	13.1	18.9	19.1	19.3	19.5	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.5	21.7	21.9	22.1
21.8	4.0	12.7	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5
25.3	4.5	12.3	19.6	19.9	20.1	20.3	20.5	20.8	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9	22.1	22.3	22.6	22.8	23.0
29.0	5.0	12.0	20.0	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9	22.1	22.4	22.6	22.8	23.1	23.3	23.5
32.9	5.5	11.6	20.5	20.7	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9	22.1	22.4	22.6	22.9	23.1	23.3	23.6	23.8	24.1
37.0	6.0	11.2	20.9	21.2	21.4	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.4	23.6	23.9	24.1	24.4	24.6
41.5	6.5	10.8	21.4	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.2	23.5	23.7	24.0	24.2	24.5	24.7	25.0	25.2
46.2	7.0	10.5	21.9	22.2	22.5	22.7	23.0	23.3	23.5	23.8	24.1	24.3	24.6	24.8	25.1	25.4	25.6	25.9
51.4	7.5	10.1	22.5	22.8	23.1	23.3	23.6	23.9	24.1	24.4	24.7	25.0	25.2	25.5	25.8	26.1	26.3	26.6
56.9	8.0	9.7	23.1	23.4	23.7	24.0	24.2	24.5	24.8	25.1	25.4	25.7	25.9	26.2	26.5	26.8	27.1	27.4
62.8	8.5	9.3	23.8	24.1	24.4	24.6	24.9	25.2	25.5	25.8	26.1	26.4	26.7	27.0	27.3	27.6	27.9	28.2
69.2	9.0	9.0	24.5	24.8	25.1	25.4	25.7	26.0	26.3	26.6	26.9	27.2	27.5	27.8	28.1	28.4	28.8	29.1
76.2	9.5	8.6	25.2	25.6	25.9	26.2	26.5	26.8	27.2	27.5	27.8	28.1	28.4	28.7	29.1	29.4	29.7	30.0
83.8	10.0	8.2	26.1	26.4	26.8	27.1	27.4	27.8	28.1	28.4	28.7	29.1	29.4	29.7	30.1	30.4	30.7	31.1
92.1	10.5	7.9	27.0	27.4	27.7	28.1	28.4	28.7	29.1	29.4	29.8	30.1	30.5	30.8	31.2	31.5	31.9	32.2
101.2	11.0	7.5	28.0	28.4	28.8	29.1	29.5	29.8	30.2	30.6	30.9	31.3	31.7	32.0	32.4	32.8	33.1	33.5
111.3	11.5	7.1	29.1	29.5	29.9	30.3	30.7	31.1	31.4	31.8	32.2	32.6	33.0	33.4	33.7	34.1	34.5	34.9
122.5	12.0	6.7	30.4	30.8	31.2	31.6	32.0	32.4	32.8	33.2	33.6	34.0	34.4	34.8	35.2	35.6	36.0	36.4
134.9	12.5	6.4	31.8	32.2	32.6	33.1	33.5	33.9	34.3	34.8	35.2	35.6	36.0	36.5	36.9	37.3	37.8	38.2
148.9	13.0	6.0	33.3	33.8	34.3	34.7	35.2	35.6	36.1	36.5	37.0	37.4	37.9	38.3	38.8	39.2	39.7	40.1
164.7	13.5	5.6	35.1	35.6	36.1	36.6	37.0	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5	39.9	40.4	40.9	41.4	41.9	42.4
182.7	14.0	5.2	37.1	37.7	38.2	38.7	39.2	39.7	40.2	40.8	41.3	41.8	42.3	42.8	43.3	43.9	44.4	44.9
203.4	14.5	4.9	39.5	40.0	40.6	41.1	41.7	42.3	42.8	43.4	43.9	44.5	45.0	45.6	46.1	46.7	47.3	47.8
227.5	15.0	4.5	42.2	42.8	43.4	44.0	44.6	45.2	45.8	46.4	47.0	47.6	48.2	48.8	49.4	50.0	50.6	51.2
255.8	15.5	4.1	45.4	46.1	46.7	47.4	48.1	48.7	49.4	50.0	50.7	51.3	52.0	52.6	53.3	53.9	54.6	55.3
289.5	16.0	3.7	49.3	50.0	50.7	51.5	52.2	52.9	53.6	54.3	55.1	55.8	56.5	57.2	57.9	58.6	59.4	60.1

تابع جدول (4-24)

Exit Gas Heat Losses

% CESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F / EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900
0.0	0.0	15.7	19.6	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.6	20.8	21.0	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.2
2.3	0.5	15.3	19.9	20.1	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.2	22.4	22.6
4.6	1.0	15.0	20.2	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.4	22.6	22.8	23.0
7.1	1.5	14.6	20.5	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.6	22.8	23.0	23.2	23.4
9.8	2.0	14.2	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.1	23.2	23.4	23.6	23.8
12.5	2.5	13.8	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.1	23.3	23.5	23.7	23.9	24.1	24.3
15.5	3.0	13.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.1	23.3	23.5	23.7	23.9	24.2	24.4	24.6	24.8
18.5	3.5	13.1	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.2	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6	24.9	25.1	25.3
21.8	4.0	12.7	22.5	22.8	23.0	23.2	23.4	23.6	23.8	24.1	24.3	24.5	24.7	24.9	25.2	25.4	25.6	25.8
25.3	4.5	12.3	23.0	23.2	23.5	23.7	23.9	24.1	24.4	24.6	24.8	25.0	25.3	25.5	25.7	25.9	26.2	26.4
29.0	5.0	12.0	23.5	23.7	24.0	24.2	24.4	24.7	24.9	25.1	25.4	25.6	25.8	26.1	26.3	26.5	26.8	27.0
32.9	5.5	11.6	24.1	24.3	24.5	24.8	25.0	25.2	25.5	25.7	26.0	26.2	26.4	26.7	26.9	27.2	27.4	27.6
37.0	6.0	11.2	24.6	24.9	25.1	25.4	25.6	25.9	26.1	26.3	26.6	26.8	27.1	27.3	27.6	27.8	28.1	28.3
41.5	6.5	10.8	25.2	25.5	25.7	26.0	26.3	26.5	26.8	27.0	27.3	27.5	27.8	28.0	28.3	28.5	28.8	29.1
46.2	7.0	10.5	25.9	26.2	26.4	26.7	26.9	27.2	27.5	27.7	28.0	28.3	28.5	28.8	29.0	29.3	29.6	29.8
51.4	7.5	10.1	26.6	26.9	27.1	27.4	27.7	28.0	28.2	28.5	28.8	29.0	29.3	29.6	29.9	30.1	30.4	30.7
56.9	8.0	9.7	27.4	27.6	27.9	28.2	28.5	28.8	29.0	29.3	29.6	29.9	30.2	30.5	30.7	31.0	31.3	31.6
62.8	8.5	9.3	28.2	28.5	28.8	29.1	29.3	29.6	29.9	30.2	30.5	30.8	31.1	31.4	31.7	32.0	32.3	32.6
69.2	9.0	9.0	29.1	29.4	29.7	30.0	30.3	30.6	30.9	31.2	31.5	31.8	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6
76.2	9.5	8.6	30.0	30.3	30.7	31.0	31.3	31.6	31.9	32.2	32.6	32.9	33.2	33.5	33.8	34.2	34.5	34.8
83.8	10.0	8.2	31.1	31.4	31.7	32.1	32.4	32.7	33.1	33.4	33.7	34.1	34.4	34.7	35.1	35.4	35.7	36.1
92.1	10.5	7.9	32.2	32.6	32.9	33.3	33.6	34.0	34.3	34.7	35.0	35.4	35.7	36.0	36.4	36.7	37.1	37.4
101.2	11.0	7.5	33.5	33.9	34.2	34.6	34.9	35.3	35.7	36.0	36.4	36.8	37.1	37.5	37.9	38.2	38.6	39.0
111.3	11.5	7.1	34.9	35.3	35.7	36.0	36.4	36.8	37.2	37.6	38.0	38.3	38.7	39.1	39.5	39.9	40.3	40.6
122.5	12.0	6.7	36.4	36.9	37.3	37.7	38.1	38.5	38.9	39.3	39.7	40.1	40.5	40.9	41.3	41.7	42.1	42.5
134.9	12.5	6.4	38.2	38.6	39.0	39.5	39.9	40.3	40.7	41.2	41.6	42.0	42.5	42.9	43.3	43.7	44.2	44.6
148.9	13.0	6.0	40.1	40.6	41.0	41.5	42.0	42.4	42.9	43.3	43.8	44.2	44.7	45.1	45.6	46.0	46.5	46.9
164.7	13.5	5.6	42.4	42.8	43.3	43.8	44.3	44.8	45.3	45.7	46.2	46.7	47.2	47.7	48.1	48.6	49.1	49.6
182.7	14.0	5.2	44.9	45.4	45.9	46.4	47.0	47.5	48.0	48.5	49.0	49.5	50.1	50.6	51.1	51.6	52.1	52.6
203.4	14.5	4.9	47.8	48.4	48.9	49.5	50.0	50.6	51.1	51.7	52.3	52.8	53.4	53.9	54.5	55.0	55.6	56.1
227.5	15.0	4.5	51.2	51.8	52.4	53.0	53.6	54.2	54.8	55.4	56.0	56.6	57.2	57.8	58.4	59.0	59.6	60.2
255.8	15.5	4.1	55.3	55.9	56.6	57.2	57.9	58.5	59.2	59.8	60.5	61.1	61.8	62.5	63.1	63.8	64.4	65.1
289.5	16.0	3.7	60.1	60.8	61.5	62.2	63.0	63.7	64.4	65.1	65.8	66.6	67.3	68.0	68.7	69.4	70.2	70.9

جدول (4-25) مفقودات العادم لزيت الوقود رقم (6)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.0	0.0	16.7	7.5	7.7	7.9	8.0	8.2	8.4	8.6	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.6	9.8	10.0	10.2
2.3	0.5	16.3	7.6	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	9.9	10.1	10.3
4.7	1.0	15.9	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.2	10.4
7.2	1.5	15.5	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6
9.9	2.0	15.1	7.8	8.0	8.2	8.4	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7
12.7	2.5	14.7	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9
15.6	3.0	14.3	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0
18.8	3.5	13.9	8.0	8.2	8.4	8.6	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.6	10.8	11.0	11.2
22.1	4.0	13.5	8.1	8.3	8.5	8.7	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4
25.6	4.5	13.1	8.2	8.4	8.6	8.9	9.1	9.3	9.5	9.8	10.0	10.2	10.4	10.7	10.9	11.1	11.3	11.6
29.3	5.0	12.7	8.3	8.5	8.7	9.0	9.2	9.4	9.7	9.9	10.1	10.4	10.6	10.8	11.1	11.3	11.5	11.8
33.3	5.5	12.3	8.4	8.6	8.9	9.1	9.3	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.8	11.0	11.3	11.5	11.7	12.0
37.5	6.0	11.9	8.5	8.8	9.0	9.2	9.5	9.7	10.0	10.2	10.5	10.7	11.0	11.2	11.5	11.7	12.0	12.2
42.0	6.5	11.5	8.6	8.9	9.1	9.4	9.6	9.9	10.2	10.4	10.7	10.9	11.2	11.4	11.7	11.9	12.2	12.5
46.8	7.0	11.1	8.8	9.0	9.3	9.5	9.8	10.1	10.3	10.6	10.9	11.1	11.4	11.7	11.9	12.2	12.4	12.7
52.0	7.5	10.7	8.9	9.2	9.4	9.7	10.0	10.3	10.5	10.8	11.1	11.4	11.6	11.9	12.2	12.4	12.7	13.0
57.5	8.0	10.3	9.0	9.3	9.6	9.9	10.2	10.5	10.7	11.0	11.3	11.6	11.9	12.2	12.4	12.7	13.0	13.3
63.6	8.5	9.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0	11.3	11.6	11.9	12.2	12.4	12.7	13.0	13.3	13.6
70.1	9.0	9.5	9.4	9.7	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2	11.5	11.8	12.1	12.4	12.8	13.1	13.4	13.7	14.0
77.1	9.5	9.1	9.6	9.9	10.2	10.5	10.9	11.2	11.5	11.8	12.1	12.5	12.8	13.1	13.4	13.7	14.0	14.4
84.8	10.0	8.7	9.8	10.1	10.5	10.8	11.1	11.5	11.8	12.1	12.5	12.8	13.1	13.5	13.8	14.1	14.4	14.8
93.2	10.5	8.4	10.0	10.4	10.7	11.1	11.4	11.8	12.1	12.5	12.8	13.2	13.5	13.8	14.2	14.5	14.9	15.2
102.4	11.0	8.0	10.3	10.6	11.0	11.4	11.7	12.1	12.5	12.8	13.2	13.6	13.9	14.3	14.7	15.0	15.4	15.7
112.6	11.5	7.6	10.6	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.2	13.6	14.0	14.4	14.8	15.2	15.5	15.9	16.3
123.9	12.0	7.2	10.9	11.3	11.7	12.1	12.5	12.9	13.3	13.7	14.1	14.5	14.9	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9
136.5	12.5	6.8	11.2	11.6	12.1	12.5	12.9	13.3	13.8	14.2	14.6	15.1	15.5	15.9	16.3	16.8	17.2	17.6
150.7	13.0	6.4	11.6	12.1	12.5	13.0	13.4	13.9	14.3	14.8	15.2	15.7	16.1	16.6	17.0	17.5	18.0	18.4
166.7	13.5	6.0	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	14.9	15.4	15.9	16.4	16.9	17.4	17.8	18.3	18.8	19.3
184.9	14.0	5.6	12.6	13.1	13.6	14.1	14.6	15.1	15.7	16.2	16.7	17.2	17.7	18.2	18.8	19.3	19.8	20.3
205.8	14.5	5.2	13.1	13.7	14.2	14.8	15.4	15.9	16.5	17.0	17.6	18.1	18.7	19.2	19.8	20.4	20.9	21.5
230.2	15.0	4.8	13.8	14.4	15.0	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6	19.2	19.8	20.4	21.0	21.6	22.2	22.8
258.8	15.5	4.4	14.6	15.3	15.9	16.6	17.2	17.9	18.5	19.2	19.9	20.5	21.2	21.8	22.5	23.1	23.8	24.4
292.9	16.0	4.0	15.6	16.3	17.0	17.7	18.5	19.2	19.9	20.6	21.3	22.1	22.8	23.5	24.2	24.9	25.7	26.4

تابع جدول (4-25)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE 300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450
0.0	0.0	16.7	10.2	10.4	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.3	12.5	12.7	12.9
2.3	0.5	16.3	10.3	10.5	10.7	10.9	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1
4.7	1.0	15.9	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.6	11.8	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3
7.2	1.5	15.5	10.6	10.8	11.0	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5
9.9	2.0	15.1	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7
12.7	2.5	14.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9
15.6	3.0	14.3	11.0	11.2	11.4	11.6	11.9	12.1	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1
18.8	3.5	13.9	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.8	14.0	14.2	14.4
22.1	4.0	13.5	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7
25.6	4.5	13.1	11.6	11.8	12.0	12.2	12.5	12.7	12.9	13.1	13.4	13.6	13.8	14.0	14.3	14.5	14.7	14.9
29.3	5.0	12.7	11.8	12.0	12.2	12.5	12.7	12.9	13.2	13.4	13.6	13.9	14.1	14.3	14.5	14.8	15.0	15.2
33.3	5.5	12.3	12.0	12.2	12.5	12.7	12.9	13.2	13.4	13.7	13.9	14.1	14.4	14.6	14.8	15.1	15.3	15.6
37.5	6.0	11.9	12.2	12.5	12.7	12.9	13.2	13.4	13.7	13.9	14.2	14.4	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7	15.9
42.0	6.5	11.5	12.5	12.7	13.0	13.2	13.5	13.7	14.0	14.2	14.5	14.7	15.0	15.3	15.5	15.8	16.0	16.3
46.8	7.0	11.1	12.7	13.0	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.8	15.1	15.3	15.6	15.9	16.1	16.4	16.7
52.0	7.5	10.7	13.0	13.3	13.5	13.8	14.1	14.4	14.6	14.9	15.2	15.5	15.7	16.0	16.3	16.5	16.8	17.1
57.5	8.0	10.3	13.3	13.6	13.9	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3	17.5
63.6	8.5	9.9	13.6	13.9	14.2	14.5	14.8	15.1	15.4	15.7	16.0	16.3	16.6	16.9	17.2	17.4	17.7	18.0
70.1	9.0	9.5	14.0	14.3	14.6	14.9	15.2	15.5	15.8	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3	17.6	18.0	18.3	18.6
77.1	9.5	9.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	16.0	16.3	16.6	16.9	17.2	17.5	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1
84.8	10.0	8.7	14.8	15.1	15.4	15.8	16.1	16.4	16.8	17.1	17.4	17.8	18.1	18.4	18.8	19.1	19.4	19.8
93.2	10.5	8.4	15.2	15.6	15.9	16.3	16.6	17.0	17.3	17.7	18.0	18.4	18.7	19.1	19.4	19.8	20.1	20.5
102.4	11.0	8.0	15.7	16.1	16.5	16.8	17.2	17.6	17.9	18.3	18.7	19.0	19.4	19.8	20.1	20.5	20.9	21.2
112.6	11.5	7.6	16.3	16.7	17.1	17.5	17.8	18.2	18.6	19.0	19.4	19.8	20.1	20.5	20.9	21.3	21.7	22.1
123.9	12.0	7.2	16.9	17.3	17.7	18.1	18.5	18.9	19.4	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0
136.5	12.5	6.8	17.6	18.0	18.5	18.9	19.3	19.8	20.2	20.6	21.0	21.5	21.9	22.3	22.8	23.2	23.6	24.0
150.7	13.0	6.4	18.4	18.9	19.3	19.8	20.2	20.7	21.1	21.6	22.0	22.5	22.9	23.4	23.8	24.3	24.8	25.2
166.7	13.5	6.0	19.3	19.8	20.3	20.7	21.2	21.7	22.2	22.7	23.2	23.6	24.1	24.6	25.1	25.6	26.0	26.5
184.9	14.0	5.6	20.3	20.8	21.3	21.9	22.4	22.9	23.4	23.9	24.4	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.1
205.8	14.5	5.2	21.5	22.0	22.6	23.1	23.7	24.2	24.8	25.4	25.9	26.5	27.0	27.6	28.1	28.7	29.2	29.8
230.2	15.0	4.8	22.8	23.4	24.0	24.6	25.2	25.8	26.4	27.0	27.6	28.2	28.8	29.4	30.0	30.6	31.2	31.8
258.8	15.5	4.4	24.4	25.1	25.7	26.4	27.1	27.7	28.4	29.0	29.7	30.3	31.0	31.6	32.3	32.9	33.6	34.3
292.9	16.0	4.0	26.4	27.1	27.8	28.5	29.2	30.0	30.7	31.4	32.1	32.8	33.6	34.3	35.0	35.7	36.4	37.2

تابع جدول (4-25)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
			NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
0.0	0.0	16.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6	13.8	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6
2.3	0.5	16.3	13.1	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.4	15.6	15.8
4.7	1.0	15.9	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1
7.2	1.5	15.5	13.5	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.1	16.3
9.9	2.0	15.1	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6
12.7	2.5	14.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9
15.6	3.0	14.3	14.1	14.3	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2
18.8	3.5	13.9	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6
22.1	4.0	13.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9
25.6	4.5	13.1	14.9	15.2	15.4	15.6	15.8	16.1	16.3	16.5	16.7	17.0	17.2	17.4	17.6	17.9	18.1	18.3
29.3	5.0	12.7	15.2	15.5	15.7	15.9	16.2	16.4	16.6	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.0	18.3	18.5	18.7
33.3	5.5	12.3	15.6	15.8	16.0	16.3	16.5	16.8	17.0	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.4	18.7	18.9	19.2
37.5	6.0	11.9	15.9	16.2	16.4	16.6	16.9	17.1	17.4	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6	18.9	19.1	19.4	19.6
42.0	6.5	11.5	16.3	16.5	16.8	17.0	17.3	17.5	17.8	18.1	18.3	18.6	18.8	19.1	19.3	19.6	19.8	20.1
46.8	7.0	11.1	16.7	16.9	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.5	18.8	19.0	19.3	19.6	19.8	20.1	20.4	20.6
52.0	7.5	10.7	17.1	17.4	17.6	17.9	18.2	18.5	18.7	19.0	19.3	19.5	19.8	20.1	20.4	20.6	20.9	21.2
57.5	8.0	10.3	17.5	17.8	18.1	18.4	18.7	19.0	19.2	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	20.9	21.2	21.5	21.8
63.6	8.5	9.9	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.0	21.3	21.6	21.9	22.1	22.4
70.1	9.0	9.5	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.0	21.3	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8	23.2
77.1	9.5	9.1	19.1	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.1	21.4	21.7	22.0	22.3	22.6	23.0	23.3	23.6	23.9
84.8	10.0	8.7	19.8	20.1	20.4	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1	22.4	22.8	23.1	23.4	23.8	24.1	24.4	24.8
93.2	10.5	8.4	20.5	20.8	21.2	21.5	21.9	22.2	22.5	22.9	23.2	23.6	23.9	24.3	24.6	25.0	25.3	25.7
102.4	11.0	8.0	21.2	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0	23.4	23.8	24.1	24.5	24.9	25.2	25.6	26.0	26.3	26.7
112.6	11.5	7.6	22.1	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0	24.4	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.0	27.4	27.8
123.9	12.0	7.2	23.0	23.4	23.8	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4	27.8	28.2	28.6	29.1
136.5	12.5	6.8	24.0	24.5	24.9	25.3	25.7	26.2	26.6	27.0	27.5	27.9	28.3	28.7	29.2	29.6	30.0	30.4
150.7	13.0	6.4	25.2	25.7	26.1	26.6	27.0	27.5	27.9	28.4	28.8	29.3	29.7	30.2	30.6	31.1	31.6	32.0
166.7	13.5	6.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	28.9	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.8	32.3	32.8	33.3	33.8
184.9	14.0	5.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.2	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.8	35.3	35.8
205.8	14.5	5.2	29.8	30.4	30.9	31.5	32.0	32.6	33.1	33.7	34.2	34.8	35.4	35.9	36.5	37.0	37.6	38.1
230.2	15.0	4.8	31.8	32.4	33.0	33.6	34.2	34.8	35.5	36.1	36.7	37.3	37.9	38.5	39.1	39.7	40.3	40.9
258.8	15.5	4.4	34.3	34.9	35.6	36.2	36.9	37.5	38.2	38.8	39.5	40.2	40.8	41.5	42.1	42.8	43.4	44.1
292.9	16.0	4.0	37.2	37.9	38.6	39.3	40.0	40.8	41.5	42.2	42.9	43.6	44.3	45.1	45.8	46.5	47.2	47.9

ع جدول (4-26)

Losses

URE DEG F
ISTION AIR TEMPERATURE

D	390	400	410	420	430
B	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8
9	10.1	10.3	10.6	10.8	11.0
1	10.3	10.5	10.7	11.0	11.2
3	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4
5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6
7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.8
.9	11.2	11.4	11.6	11.9	12.1
.2	11.4	11.6	11.9	12.1	12.3
.4	11.7	11.9	12.1	12.4	12.6
.7	11.9	12.2	12.4	12.7	12.9
.0	12.2	12.5	12.7	13.0	13.2
.3	12.5	12.8	13.0	13.3	13.6
.6	12.8	13.1	13.4	13.7	13.9
.9	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3
.3	13.6	13.9	14.1	14.4	14.7
.7	14.0	14.3	14.6	14.9	15.2
.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6
.5	14.9	15.2	15.5	15.8	16.2
.0	15.4	15.7	16.0	16.4	16.7
.6	15.9	16.3	16.6	17.0	17.3
.1	16.5	16.9	17.2	17.6	18.0
.8	17.2	17.5	17.9	18.3	18.7
.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5
.2	18.7	19.1	19.5	19.9	20.4
.1	19.5	20.0	20.4	20.9	21.3
.1	20.5	21.0	21.5	21.9	22.4
.1	21.6	22.1	22.6	23.1	23.6
.4	22.9	23.4	24.0	24.5	25.0
.8	24.3	24.9	25.5	26.0	26.6
.4	26.0	26.6	27.2	27.8	28.4
.3	27.9	28.6	29.3	29.9	30.6
.5	30.2	30.9	31.7	32.4	33.1
.2	33.0	33.7	34.5	35.3	36.1

تابع جدول (4-26)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
0.0	0.0	19.9	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2
2.4	0.5	19.4	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4
4.9	1.0	19.0	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7
7.5	1.5	18.5	11.8	12.0	12.2	12.4	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.4	14.6	14.8	15.0
10.3	2.0	18.0	12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.1	15.3
13.2	2.5	17.5	12.3	12.5	12.7	13.0	13.2	13.4	13.6	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	15.0	15.2	15.4	15.6
16.3	3.0	17.1	12.5	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	13.9	14.2	14.4	14.6	14.8	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0
19.5	3.5	16.6	12.8	13.1	13.3	13.5	13.8	14.0	14.2	14.5	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7	15.9	16.1	16.4
23.0	4.0	16.1	13.1	13.4	13.6	13.8	14.1	14.3	14.6	14.8	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0	16.3	16.5	16.8
26.6	4.5	15.6	13.4	13.7	13.9	14.2	14.4	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7	15.9	16.2	16.4	16.7	16.9	17.2
30.5	5.0	15.2	13.8	14.0	14.3	14.5	14.8	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.3	16.6	16.8	17.1	17.3	17.6
34.6	5.5	14.7	14.1	14.4	14.6	14.9	15.2	15.4	15.7	16.0	16.2	16.5	16.8	17.0	17.3	17.5	17.8	18.1
39.0	6.0	14.2	14.5	14.8	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.4	16.7	16.9	17.2	17.5	17.8	18.0	18.3	18.6
43.6	6.5	13.7	14.9	15.2	15.4	15.7	16.0	16.3	16.6	16.9	17.1	17.4	17.7	18.0	18.3	18.5	18.8	19.1
48.7	7.0	13.3	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8	17.1	17.3	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1	19.4	19.7
54.0	7.5	12.8	15.8	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3
59.8	8.0	12.3	16.3	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.5	18.8	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	21.0
66.1	8.5	11.8	16.8	17.1	17.4	17.8	18.1	18.4	18.7	19.1	19.4	19.7	20.0	20.4	20.7	21.0	21.3	21.7
72.8	9.0	11.4	17.4	17.7	18.1	18.4	18.7	19.1	19.4	19.7	20.1	20.4	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1	22.4
80.2	9.5	10.9	18.0	18.4	18.7	19.1	19.4	19.8	20.1	20.5	20.8	21.2	21.5	21.9	22.2	22.6	22.9	23.3
88.2	10.0	10.4	18.7	19.1	19.4	19.8	20.2	20.5	20.9	21.3	21.6	22.0	22.4	22.7	23.1	23.5	23.8	24.2
96.9	10.5	10.0	19.5	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.1	22.5	22.9	23.3	23.7	24.1	24.4	24.8	25.2
106.5	11.0	9.5	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.5	23.9	24.3	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3
117.1	11.5	9.0	21.2	21.6	22.0	22.5	22.9	23.3	23.7	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.3	26.7	27.1	27.5
128.8	12.0	8.5	22.2	22.7	23.1	23.6	24.0	24.4	24.9	25.3	25.8	26.2	26.7	27.1	27.6	28.0	28.4	28.9
141.9	12.5	8.1	23.4	23.8	24.3	24.8	25.2	25.7	26.2	26.6	27.1	27.6	28.1	28.5	29.0	29.5	29.9	30.4
156.6	13.0	7.6	24.6	25.1	25.6	26.1	26.6	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.1	31.6	32.1
173.2	13.5	7.1	26.1	26.6	27.1	27.7	28.2	28.7	29.3	29.8	30.3	30.9	31.4	31.9	32.5	33.0	33.5	34.0
192.1	14.0	6.6	27.7	28.3	28.9	29.4	30.0	30.6	31.2	31.7	32.3	32.9	33.4	34.0	34.6	35.1	35.7	36.3
213.9	14.5	6.2	29.7	30.3	30.9	31.5	32.1	32.7	33.3	33.9	34.5	35.1	35.8	36.4	37.0	37.6	38.2	38.8
239.2	15.0	5.7	31.9	32.5	33.2	33.9	34.5	35.2	35.8	36.5	37.2	37.8	38.5	39.1	39.8	40.5	41.1	41.8
268.9	15.5	5.2	34.5	35.2	36.0	36.7	37.4	38.1	38.8	39.6	40.3	41.0	41.7	42.4	43.1	43.9	44.6	45.3
304.3	16.0	4.7	37.7	38.5	39.3	40.1	40.8	41.6	42.4	43.2	44.0	44.8	45.6	46.4	47.2	47.9	48.7	49.5

تابع جدول (4-25)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
			NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
0.0	0.0	16.7	12.9	13.1	13.2	13.4	13.6	13.8	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6
2.3	0.5	16.3	13.1	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.4	15.6	15.8
4.7	1.0	15.9	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1
7.2	1.5	15.5	13.5	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.1	16.3
9.9	2.0	15.1	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6
12.7	2.5	14.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9
15.6	3.0	14.3	14.1	14.3	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2
18.8	3.5	13.9	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6
22.1	4.0	13.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9
25.6	4.5	13.1	14.9	15.2	15.4	15.6	15.8	16.1	16.3	16.5	16.7	17.0	17.2	17.4	17.6	17.9	18.1	18.3
29.3	5.0	12.7	15.2	15.5	15.7	15.9	16.2	16.4	16.6	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.0	18.3	18.5	18.7
33.3	5.5	12.3	15.6	15.8	16.0	16.3	16.5	16.8	17.0	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.4	18.7	18.9	19.2
37.5	6.0	11.9	15.9	16.2	16.4	16.6	16.9	17.1	17.4	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6	18.9	19.1	19.4	19.6
42.0	6.5	11.5	16.3	16.5	16.8	17.0	17.3	17.5	17.8	18.1	18.3	18.6	18.8	19.1	19.3	19.6	19.8	20.1
46.8	7.0	11.1	16.7	16.9	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.5	18.8	19.0	19.3	19.6	19.8	20.1	20.4	20.6
52.0	7.5	10.7	17.1	17.4	17.6	17.9	18.2	18.5	18.7	19.0	19.3	19.5	19.8	20.1	20.4	20.6	20.9	21.2
57.5	8.0	10.3	17.5	17.8	18.1	18.4	18.7	19.0	19.2	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	20.9	21.2	21.5	21.8
63.6	8.5	9.9	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.0	21.3	21.6	21.9	22.1	22.4
70.1	9.0	9.5	18.6	18.9	19.2	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.0	21.3	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8	23.2
77.1	9.5	9.1	19.1	19.5	19.8	20.1	20.4	20.7	21.1	21.4	21.7	22.0	22.3	22.6	23.0	23.3	23.6	23.9
84.8	10.0	8.7	19.8	20.1	20.4	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1	22.4	22.8	23.1	23.4	23.8	24.1	24.4	24.8
93.2	10.5	8.4	20.5	20.8	21.2	21.5	21.9	22.2	22.5	22.9	23.2	23.6	23.9	24.3	24.6	25.0	25.3	25.7
102.4	11.0	8.0	21.2	21.6	22.0	22.3	22.7	23.0	23.4	23.8	24.1	24.5	24.9	25.2	25.6	26.0	26.3	26.7
112.6	11.5	7.6	22.1	22.4	22.8	23.2	23.6	24.0	24.4	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.0	27.4	27.8
123.9	12.0	7.2	23.0	23.4	23.8	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4	27.8	28.2	28.6	29.1
136.5	12.5	6.8	24.0	24.5	24.9	25.3	25.7	26.2	26.6	27.0	27.5	27.9	28.3	28.7	29.2	29.6	30.0	30.4
150.7	13.0	6.4	25.2	25.7	26.1	26.6	27.0	27.5	27.9	28.4	28.8	29.3	29.7	30.2	30.6	31.1	31.6	32.0
166.7	13.5	6.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	28.9	29.4	29.9	30.4	30.9	31.4	31.8	32.3	32.8	33.3	33.8
184.9	14.0	5.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.2	31.7	32.2	32.7	33.2	33.7	34.2	34.8	35.3	35.8
205.8	14.5	5.2	29.8	30.4	30.9	31.5	32.0	32.6	33.1	33.7	34.2	34.8	35.4	35.9	36.5	37.0	37.6	38.1
230.2	15.0	4.8	31.8	32.4	33.0	33.6	34.2	34.8	35.5	36.1	36.7	37.3	37.9	38.5	39.1	39.7	40.3	40.9
258.8	15.5	4.4	34.3	34.9	35.6	36.2	36.9	37.5	38.2	38.8	39.5	40.2	40.8	41.5	42.1	42.8	43.4	44.1
292.9	16.0	4.0	37.2	37.9	38.6	39.3	40.0	40.8	41.5	42.2	42.9	43.6	44.3	45.1	45.8	46.5	47.2	47.9

تابع جدول (4-25)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
0.0	0.0	16.7	15.6	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3
2.3	0.5	16.3	15.8	16.0	16.2	16.4	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.5	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.6
4.7	1.0	15.9	16.1	16.3	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9
7.2	1.5	15.5	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.6	18.8	19.0	19.2
9.9	2.0	15.1	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.6	18.8	19.0	19.2	19.4	19.6
12.7	2.5	14.7	16.9	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	19.0	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0
15.6	3.0	14.3	17.2	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.2	20.4
18.8	3.5	13.9	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8
22.1	4.0	13.5	17.9	18.2	18.4	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2
25.6	4.5	13.1	18.3	18.5	18.8	19.0	19.2	19.4	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0	21.3	21.5	21.7
29.3	5.0	12.7	18.7	19.0	19.2	19.4	19.7	19.9	20.1	20.3	20.6	20.8	21.0	21.3	21.5	21.7	22.0	22.2
33.3	5.5	12.3	19.2	19.4	19.6	19.9	20.1	20.3	20.6	20.8	21.1	21.3	21.5	21.8	22.0	22.3	22.5	22.7
37.5	6.0	11.9	19.6	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.1	21.3	21.6	21.8	22.1	22.3	22.6	22.8	23.1	23.3
42.0	6.5	11.5	20.1	20.4	20.6	20.9	21.1	21.4	21.6	21.9	22.1	22.4	22.6	22.9	23.2	23.4	23.7	23.9
46.8	7.0	11.1	20.6	20.9	21.1	21.4	21.7	21.9	22.2	22.5	22.7	23.0	23.3	23.5	23.8	24.1	24.3	24.6
52.0	7.5	10.7	21.2	21.5	21.7	22.0	22.3	22.5	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9	24.2	24.5	24.7	25.0	25.3
57.5	8.0	10.3	21.8	22.1	22.4	22.6	22.9	23.2	23.5	23.8	24.1	24.3	24.6	24.9	25.2	25.5	25.8	26.0
63.6	8.5	9.9	22.4	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.2	24.5	24.8	25.1	25.4	25.7	26.0	26.3	26.6	26.9
70.1	9.0	9.5	23.2	23.5	23.8	24.1	24.4	24.7	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2	26.5	26.8	27.1	27.4	27.7
77.1	9.5	9.1	23.9	24.2	24.6	24.9	25.2	25.5	25.8	26.2	26.5	26.8	27.1	27.4	27.7	28.1	28.4	28.7
84.8	10.0	8.7	24.8	25.1	25.4	25.8	26.1	26.4	26.8	27.1	27.4	27.8	28.1	28.4	28.8	29.1	29.4	29.8
93.2	10.5	8.4	25.7	26.0	26.4	26.7	27.1	27.4	27.8	28.1	28.5	28.8	29.2	29.5	29.9	30.2	30.6	30.9
102.4	11.0	8.0	26.7	27.1	27.4	27.8	28.2	28.5	28.9	29.2	29.6	30.0	30.3	30.7	31.1	31.4	31.8	32.2
112.6	11.5	7.6	27.8	28.2	28.6	29.0	29.3	29.7	30.1	30.5	30.9	31.3	31.6	32.0	32.4	32.8	33.2	33.6
123.9	12.0	7.2	29.1	29.5	29.9	30.3	30.7	31.1	31.5	31.9	32.3	32.7	33.1	33.5	33.9	34.3	34.7	35.1
136.5	12.5	6.8	30.4	30.9	31.3	31.7	32.2	32.6	33.0	33.4	33.9	34.3	34.7	35.1	35.6	36.0	36.4	36.9
150.7	13.0	6.4	32.0	32.5	32.9	33.4	33.8	34.3	34.7	35.2	35.6	36.1	36.5	37.0	37.4	37.9	38.4	38.8
166.7	13.5	6.0	33.8	34.3	34.7	35.2	35.7	36.2	36.7	37.2	37.6	38.1	38.6	39.1	39.6	40.1	40.5	41.0
184.9	14.0	5.6	35.8	36.3	36.8	37.3	37.9	38.4	38.9	39.4	39.9	40.4	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.5
205.8	14.5	5.2	38.1	38.7	39.2	39.8	40.4	40.9	41.5	42.0	42.6	43.1	43.7	44.2	44.8	45.4	45.9	46.5
230.2	15.0	4.8	40.9	41.5	42.1	42.7	43.3	43.9	44.5	45.1	45.7	46.3	46.9	47.5	48.1	48.7	49.3	49.9
258.8	15.5	4.4	44.1	44.7	45.4	46.0	46.7	47.4	48.0	48.7	49.3	50.0	50.6	51.3	51.9	52.6	53.2	53.9
292.9	16.0	4.0	47.9	48.7	49.4	50.1	50.8	51.5	52.3	53.0	53.7	54.4	55.1	55.9	56.6	57.3	58.0	58.7

تابع جدول (4-25)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F — EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE 750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900
0.0	0.0	16.7	18.3	18.4	18.6	18.8	19.0	19.2	19.3	19.5	19.7	19.9	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	20.9
2.3	0.5	16.3	18.6	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	20.9	21.1	21.3
4.7	1.0	15.9	18.9	19.1	19.3	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.1	21.3	21.5	21.7
7.2	1.5	15.5	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1
9.9	2.0	15.1	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.0	22.1	22.3	22.5
12.7	2.5	14.7	20.0	20.2	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0
15.6	3.0	14.3	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.0	22.2	22.4	22.6	22.9	23.1	23.3	23.5
18.8	3.5	13.9	20.8	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.3	22.5	22.7	22.9	23.1	23.3	23.6	23.8	24.0
22.1	4.0	13.5	21.2	21.4	21.7	21.9	22.1	22.3	22.5	22.8	23.0	23.2	23.4	23.6	23.9	24.1	24.3	24.5
25.6	4.5	13.1	21.7	21.9	22.2	22.4	22.6	22.8	23.1	23.3	23.5	23.7	24.0	24.2	24.4	24.6	24.9	25.1
29.3	5.0	12.7	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.4	23.6	23.8	24.1	24.3	24.5	24.8	25.0	25.2	25.5	25.7
33.3	5.5	12.3	22.7	23.0	23.2	23.5	23.7	23.9	24.2	24.4	24.7	24.9	25.1	25.4	25.6	25.9	26.1	26.3
37.5	6.0	11.9	23.3	23.6	23.8	24.1	24.3	24.5	24.8	25.0	25.3	25.5	25.8	26.0	26.3	26.5	26.8	27.0
42.0	6.5	11.5	23.9	24.2	24.4	24.7	24.9	25.2	25.5	25.7	26.0	26.2	26.5	26.7	27.0	27.2	27.5	27.7
46.8	7.0	11.1	24.6	24.8	25.1	25.4	25.6	25.9	26.2	26.4	26.7	27.0	27.2	27.5	27.7	28.0	28.3	28.5
52.0	7.5	10.7	25.3	25.6	25.8	26.1	26.4	26.6	26.9	27.2	27.5	27.7	28.0	28.3	28.6	28.8	29.1	29.4
57.5	8.0	10.3	26.0	26.3	26.6	26.9	27.2	27.5	27.7	28.0	28.3	28.6	28.9	29.2	29.4	29.7	30.0	30.3
63.6	8.5	9.9	26.9	27.1	27.4	27.7	28.0	28.3	28.6	28.9	29.2	29.5	29.8	30.1	30.4	30.7	31.0	31.3
70.1	9.0	9.5	27.7	28.0	28.4	28.7	29.0	29.3	29.6	29.9	30.2	30.5	30.8	31.1	31.4	31.7	32.0	32.3
77.1	9.5	9.1	28.7	29.0	29.3	29.7	30.0	30.3	30.6	30.9	31.3	31.6	31.9	32.2	32.5	32.8	33.2	33.5
84.8	10.0	8.7	29.8	30.1	30.4	30.7	31.1	31.4	31.7	32.1	32.4	32.7	33.1	33.4	33.7	34.1	34.4	34.7
93.2	10.5	8.4	30.9	31.2	31.6	31.9	32.3	32.6	33.0	33.3	33.7	34.0	34.4	34.7	35.1	35.4	35.8	36.1
102.4	11.0	8.0	32.2	32.5	32.9	33.3	33.6	34.0	34.4	34.7	35.1	35.4	35.8	36.2	36.5	36.9	37.3	37.6
112.6	11.5	7.6	33.6	33.9	34.3	34.7	35.1	35.5	35.9	36.2	36.6	37.0	37.4	37.8	38.2	38.5	38.9	39.3
123.9	12.0	7.2	35.1	35.5	35.9	36.3	36.7	37.1	37.5	37.9	38.4	38.8	39.2	39.6	40.0	40.4	40.8	41.2
136.5	12.5	6.8	36.9	37.3	37.7	38.1	38.6	39.0	39.4	39.8	40.3	40.7	41.1	41.6	42.0	42.4	42.8	43.3
150.7	13.0	6.4	38.8	39.3	39.7	40.2	40.6	41.1	41.5	42.0	42.4	42.9	43.3	43.8	44.2	44.7	45.2	45.6
166.7	13.5	6.0	41.0	41.5	42.0	42.5	43.0	43.4	43.9	44.4	44.9	45.4	45.8	46.3	46.8	47.3	47.8	48.3
184.9	14.0	5.6	43.5	44.1	44.6	45.1	45.6	46.1	46.6	47.2	47.7	48.2	48.7	49.2	49.7	50.3	50.8	51.3
205.8	14.5	5.2	46.5	47.0	47.6	48.1	48.7	49.2	49.8	50.4	50.9	51.5	52.0	52.6	53.1	53.7	54.2	54.8
230.2	15.0	4.8	49.9	50.5	51.1	51.7	52.3	52.9	53.5	54.1	54.7	55.3	55.9	56.5	57.1	57.7	58.3	58.9
258.8	15.5	4.4	53.9	54.6	55.2	55.9	56.5	57.2	57.8	58.5	59.1	59.8	60.4	61.1	61.8	62.4	63.1	63.7
292.9	16.0	4.0	58.7	59.4	60.2	60.9	61.6	62.3	63.0	63.8	64.5	65.2	65.9	66.6	67.4	68.1	68.8	69.5

جدول (4-26) مفقودات العادم للفحم

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
0.0	0.0	19.9	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2
2.4	0.5	19.4	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	7.9	8.1	8.3
4.9	1.0	19.0	5.3	5.5	5.7	5.9	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.5
7.5	1.5	18.5	5.4	5.6	5.8	6.0	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5	7.7	8.0	8.2	8.4	8.6
10.3	2.0	18.0	5.5	5.7	5.9	6.1	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.8
13.2	2.5	17.5	5.6	5.8	6.0	6.2	6.5	6.7	6.9	7.1	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.5	8.7	8.9
16.3	3.0	17.1	5.6	5.9	6.1	6.3	6.6	6.8	7.0	7.3	7.5	7.7	7.9	8.2	8.4	8.6	8.9	9.1
19.5	3.5	16.6	5.7	6.0	6.2	6.4	6.7	6.9	7.2	7.4	7.6	7.9	8.1	8.3	8.6	8.8	9.0	9.3
23.0	4.0	16.1	5.8	6.1	6.3	6.6	6.8	7.0	7.3	7.5	7.8	8.0	8.3	8.5	8.7	9.0	9.2	9.5
26.6	4.5	15.6	5.9	6.2	6.4	6.7	6.9	7.2	7.4	7.7	7.9	8.2	8.4	8.7	8.9	9.2	9.4	9.7
30.5	5.0	15.2	6.0	6.3	6.6	6.8	7.1	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.6	8.9	9.1	9.4	9.6	9.9
34.6	5.5	14.7	6.2	6.4	6.7	7.0	7.2	7.5	7.8	8.0	8.3	8.5	8.8	9.1	9.3	9.6	9.9	10.1
39.0	6.0	14.2	6.3	6.6	6.8	7.1	7.4	7.7	7.9	8.2	8.5	8.7	9.0	9.3	9.6	9.8	10.1	10.4
43.6	6.5	13.7	6.4	6.7	7.0	7.3	7.6	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.7
48.7	7.0	13.3	6.6	6.9	7.2	7.4	7.7	8.0	8.3	8.6	8.9	9.2	9.5	9.8	10.1	10.4	10.6	10.9
54.0	7.5	12.8	6.7	7.0	7.3	7.6	7.9	8.2	8.5	8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	10.3	10.6	10.9	11.2
59.8	8.0	12.3	6.9	7.2	7.5	7.8	8.1	8.5	8.8	9.1	9.4	9.7	10.0	10.3	10.6	11.0	11.3	11.6
66.1	8.5	11.8	7.1	7.4	7.7	8.0	8.4	8.7	9.0	9.3	9.7	10.0	10.3	10.6	11.0	11.3	11.6	11.9
72.8	9.0	11.4	7.3	7.6	7.9	8.3	8.6	8.9	9.3	9.6	10.0	10.3	10.6	11.0	11.3	11.6	12.0	12.3
80.2	9.5	10.9	7.5	7.8	8.2	8.5	8.9	9.2	9.6	9.9	10.3	10.6	11.0	11.3	11.7	12.0	12.4	12.7
88.2	10.0	10.4	7.7	8.1	8.4	8.8	9.2	9.5	9.9	10.3	10.6	11.0	11.4	11.7	12.1	12.5	12.8	13.2
96.9	10.5	10.0	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9	10.3	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	12.9	13.3	13.7
106.5	11.0	9.5	8.2	8.6	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.0	11.4	11.8	12.2	12.6	13.0	13.5	13.9	14.3
117.1	11.5	9.0	8.5	9.0	9.4	9.8	10.2	10.6	11.1	11.5	11.9	12.3	12.8	13.2	13.6	14.0	14.4	14.9
128.8	12.0	8.5	8.9	9.3	9.8	10.2	10.7	11.1	11.5	12.0	12.4	12.9	13.3	13.8	14.2	14.7	15.1	15.5
141.9	12.5	8.1	9.3	9.7	10.2	10.7	11.1	11.6	12.1	12.5	13.0	13.5	14.0	14.4	14.9	15.4	15.8	16.3
156.6	13.0	7.6	9.7	10.2	10.7	11.2	11.7	12.2	12.7	13.2	13.7	14.2	14.7	15.2	15.7	16.2	16.7	17.2
173.2	13.5	7.1	10.2	10.7	11.2	11.8	12.3	12.8	13.3	13.9	14.4	14.9	15.5	16.0	16.5	17.1	17.6	18.1
192.1	14.0	6.6	10.7	11.3	11.8	12.4	13.0	13.6	14.1	14.7	15.3	15.8	16.4	17.0	17.5	18.1	18.7	19.2
213.9	14.5	6.2	11.4	12.0	12.6	13.2	13.8	14.4	15.0	15.6	16.2	16.8	17.5	18.1	18.7	19.3	19.9	20.5
239.2	15.0	5.7	12.1	12.8	13.4	14.1	14.7	15.4	16.1	16.7	17.4	18.0	18.7	19.4	20.0	20.7	21.3	22.0
268.9	15.5	5.2	13.0	13.7	14.4	15.1	15.8	16.6	17.3	18.0	18.7	19.4	20.2	20.9	21.6	22.3	23.0	23.8
304.3	16.0	4.7	14.0	14.8	15.6	16.4	17.2	18.0	18.8	19.6	20.3	21.1	21.9	22.7	23.5	24.3	25.1	25.9

تابع جدول (4-26)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450
0.0	0.0	19.9	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2
2.4	0.5	19.4	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4
4.9	1.0	19.0	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	11.0	11.2	11.4	11.6
7.5	1.5	18.5	8.6	8.8	9.0	9.2	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.8
10.3	2.0	18.0	8.8	9.0	9.2	9.4	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0
13.2	2.5	17.5	8.9	9.1	9.4	9.6	9.8	10.0	10.3	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.8	12.1	12.3
16.3	3.0	17.1	9.1	9.3	9.6	9.8	10.0	10.2	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.9	12.1	12.3	12.5
19.5	3.5	16.6	9.3	9.5	9.8	10.0	10.2	10.5	10.7	10.9	11.2	11.4	11.6	11.9	12.1	12.3	12.6	12.8
23.0	4.0	16.1	9.5	9.7	10.0	10.2	10.4	10.7	10.9	11.2	11.4	11.7	11.9	12.1	12.4	12.6	12.9	13.1
26.6	4.5	15.6	9.7	9.9	10.2	10.4	10.7	10.9	11.2	11.4	11.7	11.9	12.2	12.4	12.7	12.9	13.2	13.4
30.5	5.0	15.2	9.9	10.2	10.4	10.7	10.9	11.2	11.4	11.7	12.0	12.2	12.5	12.7	13.0	13.2	13.5	13.8
34.6	5.5	14.7	10.1	10.4	10.7	10.9	11.2	11.5	11.7	12.0	12.3	12.5	12.8	13.0	13.3	13.6	13.8	14.1
39.0	6.0	14.2	10.4	10.7	10.9	11.2	11.5	11.8	12.0	12.3	12.6	12.8	13.1	13.4	13.7	13.9	14.2	14.5
43.6	6.5	13.7	10.7	10.9	11.2	11.5	11.8	12.1	12.3	12.6	12.9	13.2	13.5	13.8	14.0	14.3	14.6	14.9
48.7	7.0	13.3	10.9	11.2	11.5	11.8	12.1	12.4	12.7	13.0	13.3	13.6	13.9	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3
54.0	7.5	12.8	11.2	11.5	11.8	12.2	12.5	12.8	13.1	13.4	13.7	14.0	14.3	14.6	14.9	15.2	15.5	15.8
59.8	8.0	12.3	11.6	11.9	12.2	12.5	12.8	13.1	13.5	13.8	14.1	14.4	14.7	15.0	15.3	15.6	16.0	16.3
66.1	8.5	11.8	11.9	12.3	12.6	12.9	13.2	13.6	13.9	14.2	14.5	14.9	15.2	15.5	15.8	16.2	16.5	16.8
72.8	9.0	11.4	12.3	12.7	13.0	13.3	13.7	14.0	14.3	14.7	15.0	15.4	15.7	16.0	16.4	16.7	17.0	17.4
80.2	9.5	10.9	12.7	13.1	13.4	13.8	14.1	14.5	14.8	15.2	15.6	15.9	16.3	16.6	17.0	17.3	17.7	18.0
88.2	10.0	10.4	13.2	13.6	13.9	14.3	14.7	15.0	15.4	15.8	16.1	16.5	16.9	17.2	17.6	18.0	18.3	18.7
96.9	10.5	10.0	13.7	14.1	14.5	14.9	15.2	15.6	16.0	16.4	16.8	17.2	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5
106.5	11.0	9.5	14.3	14.7	15.1	15.5	15.9	16.3	16.7	17.1	17.5	17.9	18.3	18.7	19.1	19.5	19.9	20.3
117.1	11.5	9.0	14.9	15.3	15.7	16.1	16.6	17.0	17.4	17.8	18.2	18.7	19.1	19.5	19.9	20.4	20.8	21.2
128.8	12.0	8.5	15.5	16.0	16.4	16.9	17.3	17.8	18.2	18.7	19.1	19.5	20.0	20.4	20.9	21.3	21.8	22.2
141.9	12.5	8.1	16.3	16.8	17.2	17.7	18.2	18.7	19.1	19.6	20.1	20.5	21.0	21.5	21.9	22.4	22.9	23.4
156.6	13.0	7.6	17.2	17.7	18.2	18.7	19.2	19.6	20.1	20.6	21.1	21.6	22.1	22.6	23.1	23.6	24.1	24.6
173.2	13.5	7.1	18.1	18.7	19.2	19.7	20.2	20.8	21.3	21.8	22.4	22.9	23.4	24.0	24.5	25.0	25.6	26.1
192.1	14.0	6.6	19.2	19.8	20.4	20.9	21.5	22.1	22.6	23.2	23.8	24.3	24.9	25.5	26.0	26.6	27.2	27.7
213.9	14.5	6.2	20.5	21.1	21.7	22.3	22.9	23.6	24.2	24.8	25.4	26.0	26.6	27.2	27.8	28.4	29.0	29.7
239.2	15.0	5.7	22.0	22.7	23.3	24.0	24.6	25.3	26.0	26.6	27.3	27.9	28.6	29.3	29.9	30.6	31.2	31.9
268.9	15.5	5.2	23.8	24.5	25.2	25.9	26.6	27.3	28.1	28.8	29.5	30.2	30.9	31.7	32.4	33.1	33.8	34.5
304.3	16.0	4.7	25.9	26.7	27.4	28.2	29.0	29.8	30.6	31.4	32.2	33.0	33.7	34.5	35.3	36.1	36.9	37.7

تابع جدول (4-26)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F — EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE 450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600
0.0	0.0	19.9	11.2	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2
2.4	0.5	19.4	11.4	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.4	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4
4.9	1.0	19.0	11.6	11.8	12.0	12.2	12.4	12.6	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7
7.5	1.5	18.5	11.8	12.0	12.2	12.4	12.7	12.9	13.1	13.3	13.5	13.7	13.9	14.1	14.4	14.6	14.8	15.0
10.3	2.0	18.0	12.0	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.6	13.8	14.0	14.2	14.4	14.7	14.9	15.1	15.3
13.2	2.5	17.5	12.3	12.5	12.7	13.0	13.2	13.4	13.6	13.9	14.1	14.3	14.5	14.7	15.0	15.2	15.4	15.6
16.3	3.0	17.1	12.5	12.8	13.0	13.2	13.5	13.7	13.9	14.2	14.4	14.6	14.8	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0
19.5	3.5	16.6	12.8	13.1	13.3	13.5	13.8	14.0	14.2	14.5	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7	15.9	16.1	16.4
23.0	4.0	16.1	13.1	13.4	13.6	13.8	14.1	14.3	14.6	14.8	15.1	15.3	15.5	15.8	16.0	16.3	16.5	16.8
26.6	4.5	15.6	13.4	13.7	13.9	14.2	14.4	14.7	14.9	15.2	15.4	15.7	15.9	16.2	16.4	16.7	16.9	17.2
30.5	5.0	15.2	13.8	14.0	14.3	14.5	14.8	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.3	16.6	16.8	17.1	17.3	17.6
34.6	5.5	14.7	14.1	14.4	14.6	14.9	15.2	15.4	15.7	16.0	16.2	16.5	16.8	17.0	17.3	17.5	17.8	18.1
39.0	6.0	14.2	14.5	14.8	15.0	15.3	15.6	15.8	16.1	16.4	16.7	16.9	17.2	17.5	17.8	18.0	18.3	18.6
43.6	6.5	13.7	14.9	15.2	15.4	15.7	16.0	16.3	16.6	16.9	17.1	17.4	17.7	18.0	18.3	18.5	18.8	19.1
48.7	7.0	13.3	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8	17.1	17.3	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1	19.4	19.7
54.0	7.5	12.8	15.8	16.1	16.4	16.7	17.0	17.3	17.6	17.9	18.2	18.5	18.8	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3
59.8	8.0	12.3	16.3	16.6	16.9	17.2	17.5	17.8	18.1	18.5	18.8	19.1	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	21.0
66.1	8.5	11.8	16.8	17.1	17.4	17.8	18.1	18.4	18.7	19.1	19.4	19.7	20.0	20.4	20.7	21.0	21.3	21.7
72.8	9.0	11.4	17.4	17.7	18.1	18.4	18.7	19.1	19.4	19.7	20.1	20.4	20.8	21.1	21.4	21.8	22.1	22.4
80.2	9.5	10.9	18.0	18.4	18.7	19.1	19.4	19.8	20.1	20.5	20.8	21.2	21.5	21.9	22.2	22.6	22.9	23.3
88.2	10.0	10.4	18.7	19.1	19.4	19.8	20.2	20.5	20.9	21.3	21.6	22.0	22.4	22.7	23.1	23.5	23.8	24.2
96.9	10.5	10.0	19.5	19.8	20.2	20.6	21.0	21.4	21.8	22.1	22.5	22.9	23.3	23.7	24.1	24.4	24.8	25.2
106.5	11.0	9.5	20.3	20.7	21.1	21.5	21.9	22.3	22.7	23.1	23.5	23.9	24.3	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3
117.1	11.5	9.0	21.2	21.6	22.0	22.5	22.9	23.3	23.7	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.3	26.7	27.1	27.5
128.8	12.0	8.5	22.2	22.7	23.1	23.6	24.0	24.4	24.9	25.3	25.8	26.2	26.7	27.1	27.6	28.0	28.4	28.9
141.9	12.5	8.1	23.4	23.8	24.3	24.8	25.2	25.7	26.2	26.6	27.1	27.6	28.1	28.5	29.0	29.5	29.9	30.4
156.6	13.0	7.6	24.6	25.1	25.6	26.1	26.6	27.1	27.6	28.1	28.6	29.1	29.6	30.1	30.6	31.1	31.6	32.1
173.2	13.5	7.1	26.1	26.6	27.1	27.7	28.2	28.7	29.3	29.8	30.3	30.9	31.4	31.9	32.5	33.0	33.5	34.0
192.1	14.0	6.6	27.7	28.3	28.9	29.4	30.0	30.6	31.2	31.7	32.3	32.9	33.4	34.0	34.6	35.1	35.7	36.3
213.9	14.5	6.2	29.7	30.3	30.9	31.5	32.1	32.7	33.3	33.9	34.5	35.1	35.8	36.4	37.0	37.6	38.2	38.8
239.2	15.0	5.7	31.9	32.5	33.2	33.9	34.5	35.2	35.8	36.5	37.2	37.8	38.5	39.1	39.8	40.5	41.1	41.8
268.9	15.5	5.2	34.5	35.2	36.0	36.7	37.4	38.1	38.8	39.6	40.3	41.0	41.7	42.4	43.1	43.9	44.6	45.3
304.3	16.0	4.7	37.7	38.5	39.3	40.1	40.8	41.6	42.4	43.2	44.0	44.8	45.6	46.4	47.2	47.9	48.7	49.5

تابع جدول (4-26)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F / EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750
0.0	0.0	19.9	14.2	14.4	14.5	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1
2.4	0.5	19.4	14.4	14.6	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.5
4.9	1.0	19.0	14.7	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8
7.5	1.5	18.5	15.0	15.2	15.4	15.6	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.6	17.8	18.0	18.2
10.3	2.0	18.0	15.3	15.5	15.8	16.0	16.2	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.2	18.4	18.6
13.2	2.5	17.5	15.6	15.9	16.1	16.3	16.5	16.8	17.0	17.2	17.4	17.7	17.9	18.1	18.3	18.6	18.8	19.0
16.3	3.0	17.1	16.0	16.2	16.5	16.7	16.9	17.1	17.4	17.6	17.8	18.1	18.3	18.5	18.8	19.0	19.2	19.4
19.5	3.5	16.6	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.8	18.0	18.3	18.5	18.7	19.0	19.2	19.4	19.7	19.9
23.0	4.0	16.1	16.8	17.0	17.2	17.5	17.7	18.0	18.2	18.5	18.7	18.9	19.2	19.4	19.7	19.9	20.1	20.4
26.6	4.5	15.6	17.2	17.4	17.7	17.9	18.2	18.4	18.7	18.9	19.2	19.4	19.7	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9
30.5	5.0	15.2	17.6	17.9	18.1	18.4	18.6	18.9	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	20.4	20.7	20.9	21.2	21.5
34.6	5.5	14.7	18.1	18.3	18.6	18.9	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	20.5	20.7	21.0	21.2	21.5	21.8	22.0
39.0	6.0	14.2	18.6	18.8	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	20.5	20.8	21.0	21.3	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7
43.6	6.5	13.7	19.1	19.4	19.7	20.0	20.2	20.5	20.8	21.1	21.4	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8	23.1	23.3
48.7	7.0	13.3	19.7	20.0	20.3	20.6	20.8	21.1	21.4	21.7	22.0	22.3	22.6	22.9	23.2	23.5	23.8	24.0
54.0	7.5	12.8	20.3	20.6	20.9	21.2	21.5	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.2	24.5	24.8
59.8	8.0	12.3	21.0	21.3	21.6	21.9	22.2	22.5	22.8	23.1	23.5	23.8	24.1	24.4	24.7	25.0	25.3	25.6
66.1	8.5	11.8	21.7	22.0	22.3	22.6	23.0	23.3	23.6	23.9	24.3	24.6	24.9	25.2	25.6	25.9	26.2	26.5
72.8	9.0	11.4	22.4	22.8	23.1	23.5	23.8	24.1	24.5	24.8	25.1	25.5	25.8	26.2	26.5	26.8	27.2	27.5
80.2	9.5	10.9	23.3	23.6	24.0	24.3	24.7	25.0	25.4	25.7	26.1	26.4	26.8	27.1	27.5	27.9	28.2	28.6
88.2	10.0	10.4	24.2	24.6	24.9	25.3	25.7	26.0	26.4	26.8	27.1	27.5	27.9	28.2	28.6	29.0	29.3	29.7
96.9	10.5	10.0	25.2	25.6	26.0	26.4	26.7	27.1	27.5	27.9	28.3	28.7	29.0	29.4	29.8	30.2	30.6	31.0
106.5	11.0	9.5	26.3	26.7	27.1	27.5	27.9	28.3	28.7	29.1	29.5	29.9	30.3	30.7	31.1	31.5	31.9	32.3
117.1	11.5	9.0	27.5	28.0	28.4	28.8	29.2	29.6	30.1	30.5	30.9	31.3	31.8	32.2	32.6	33.0	33.4	33.9
128.8	12.0	8.5	28.9	29.3	29.8	30.2	30.7	31.1	31.6	32.0	32.4	32.9	33.3	33.8	34.2	34.7	35.1	35.6
141.9	12.5	8.1	30.4	30.9	31.3	31.8	32.3	32.8	33.2	33.7	34.2	34.6	35.1	35.6	36.0	36.5	37.0	37.5
156.6	13.0	7.6	32.1	32.6	33.1	33.6	34.1	34.6	35.1	35.6	36.1	36.6	37.1	37.6	38.1	38.6	39.1	39.6
173.2	13.5	7.1	34.0	34.6	35.1	35.6	36.2	36.7	37.2	37.8	38.3	38.8	39.4	39.9	40.4	41.0	41.5	42.0
192.1	14.0	6.6	36.3	36.8	37.4	38.0	38.5	39.1	39.7	40.2	40.8	41.4	41.9	42.5	43.1	43.6	44.2	44.8
213.9	14.5	6.2	38.8	39.4	40.0	40.6	41.3	41.9	42.5	43.1	43.7	44.3	44.9	45.5	46.1	46.7	47.4	48.0
239.2	15.0	5.7	41.8	42.4	43.1	43.8	44.4	45.1	45.7	46.4	47.1	47.7	48.4	49.0	49.7	50.4	51.0	51.7
268.9	15.5	5.2	45.3	46.0	46.7	47.5	48.2	48.9	49.6	50.3	51.1	51.8	52.5	53.2	53.9	54.6	55.4	56.1
304.3	16.0	4.7	49.5	50.3	51.1	51.9	52.7	53.5	54.3	55.0	55.8	56.6	57.4	58.2	59.0	59.8	60.6	61.4

تابع جدول (4-26)

Exit Gas Heat Losses

% EXCESS AIR	% OXYGEN	% CO2	NET STACK TEMPERATURE DEG F / EXIT FLUE GAS TEMPERATURE - COMBUSTION AIR TEMPERATURE															
			750	760	770	780	790	800	810	820	830	840	850	860	870	880	890	900
0.0	0.0	19.9	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1
2.4	0.5	19.4	17.5	17.7	17.9	18.1	18.3	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5
4.9	1.0	19.0	17.8	18.0	18.2	18.5	18.7	18.9	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0
7.5	1.5	18.5	18.2	18.4	18.6	18.8	19.1	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.5	20.8	21.0	21.2	21.4
10.3	2.0	18.0	18.6	18.8	19.0	19.2	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.6	20.8	21.0	21.2	21.4	21.7	21.9
13.2	2.5	17.5	19.0	19.2	19.5	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.0	21.2	21.5	21.7	21.9	22.1	22.4
16.3	3.0	17.1	19.4	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.1	21.3	21.5	21.7	22.0	22.2	22.4	22.7	22.9
19.5	3.5	16.6	19.9	20.1	20.4	20.6	20.8	21.1	21.3	21.6	21.8	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.2	23.4
23.0	4.0	16.1	20.4	20.6	20.9	21.1	21.4	21.6	21.8	22.1	22.3	22.6	22.8	23.1	23.3	23.5	23.8	24.0
26.6	4.5	15.6	20.9	21.2	21.4	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.2	23.4	23.7	23.9	24.2	24.4	24.6
30.5	5.0	15.2	21.5	21.7	22.0	22.2	22.5	22.7	23.0	23.3	23.5	23.8	24.0	24.3	24.5	24.8	25.1	25.3
34.6	5.5	14.7	22.0	22.3	22.6	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9	24.2	24.4	24.7	25.0	25.2	25.5	25.7	26.0
39.0	6.0	14.2	22.7	22.9	23.2	23.5	23.8	24.0	24.3	24.6	24.8	25.1	25.4	25.7	25.9	26.2	26.5	26.8
43.6	6.5	13.7	23.3	23.6	23.9	24.2	24.5	24.7	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2	26.4	26.7	27.0	27.3	27.6
48.7	7.0	13.3	24.0	24.3	24.6	24.9	25.2	25.5	25.8	26.1	26.4	26.7	27.0	27.3	27.5	27.8	28.1	28.4
54.0	7.5	12.8	24.8	25.1	25.4	25.7	26.0	26.3	26.6	26.9	27.2	27.5	27.8	28.1	28.4	28.7	29.0	29.3
59.8	8.0	12.3	25.6	26.0	26.3	26.6	26.9	27.2	27.5	27.8	28.1	28.5	28.8	29.1	29.4	29.7	30.0	30.3
66.1	8.5	11.8	26.5	26.9	27.2	27.5	27.8	28.2	28.5	28.8	29.1	29.5	29.8	30.1	30.4	30.8	31.1	31.4
72.8	9.0	11.4	27.5	27.8	28.2	28.5	28.9	29.2	29.5	29.9	30.2	30.5	30.9	31.2	31.6	31.9	32.2	32.6
80.2	9.5	10.9	28.6	28.9	29.3	29.6	30.0	30.3	30.7	31.0	31.4	31.7	32.1	32.4	32.8	33.1	33.5	33.8
88.2	10.0	10.4	29.7	30.1	30.4	30.8	31.2	31.5	31.9	32.3	32.6	33.0	33.4	33.7	34.1	34.5	34.8	35.2
96.9	10.5	10.0	31.0	31.3	31.7	32.1	32.5	32.9	33.3	33.6	34.0	34.4	34.8	35.2	35.6	35.9	36.3	36.7
106.5	11.0	9.5	32.3	32.7	33.1	33.5	33.9	34.3	34.8	35.2	35.6	36.0	36.4	36.8	37.2	37.6	38.0	38.4
117.1	11.5	9.0	33.9	34.3	34.7	35.1	35.6	36.0	36.4	36.8	37.2	37.7	38.1	38.5	38.9	39.4	39.8	40.2
128.8	12.0	8.5	35.6	36.0	36.5	36.9	37.3	37.8	38.2	38.7	39.1	39.6	40.0	40.5	40.9	41.3	41.8	42.2
141.9	12.5	8.1	37.5	37.9	38.4	38.9	39.3	39.8	40.3	40.8	41.2	41.7	42.2	42.6	43.1	43.6	44.0	44.5
156.6	13.0	7.6	39.6	40.1	40.6	41.1	41.6	42.1	42.6	43.1	43.6	44.1	44.6	45.1	45.6	46.1	46.6	47.1
173.2	13.5	7.1	42.0	42.5	43.1	43.6	44.1	44.7	45.2	45.7	46.3	46.8	47.3	47.9	48.4	48.9	49.4	50.0
192.1	14.0	6.6	44.8	45.3	45.9	46.5	47.0	47.6	48.2	48.7	49.3	49.9	50.5	51.0	51.6	52.2	52.7	53.3
213.9	14.5	6.2	48.0	48.6	49.2	49.8	50.4	51.0	51.6	52.2	52.8	53.5	54.1	54.7	55.3	55.9	56.5	57.1
239.2	15.0	5.7	51.7	52.3	53.0	53.7	54.3	55.0	55.6	56.3	57.0	57.6	58.3	58.9	59.6	60.3	60.9	61.6
268.9	15.5	5.2	56.1	56.8	57.5	58.2	59.0	59.7	60.4	61.1	61.8	62.5	63.3	64.0	64.7	65.4	66.1	66.9
304.3	16.0	4.7	61.4	62.1	62.9	63.7	64.5	65.3	66.1	66.9	67.7	68.5	69.2	70.0	70.8	71.6	72.4	73.2

الكفاءة الحرارية للغلاية Boiler Thermal Efficiency

كفاءة الغلاية هى النسبة بين كمية الطاقة اللازمة للحصول على بخار إلى الطاقة الحرارية الناتجة من أحتراق الوقود

$$\text{كفاءة الغلاية} = \frac{\text{heat given to steam}}{\text{heating value of fuel}} \times 100\%$$

$$\text{كفاءة الغلاية} = \frac{m_s(h_1 - h_2) \times 100}{\text{heating value of fuel}} \times 100\%$$

حيث :

m_s = باوند بخار مخرج / رطل وقود

h_1 = انثالبيا البخار

h_2 = انثالبيا مياه التغذية (Feed water)

القيمة الحرارية للوقود بوحدة Btu / lb

مثـال

غلاية تنتج 10 باوند (lb) من البخار المشبع الجاف لكل باوند وقود عند ضغط يساوى $100\ P_{sia}$ ، درجة حرارة مياه التغذية $140\ F^0$ والقيمة الحرارية للوقود تساوى 19,600 Btu / Ib . أوجد كفاءة الغلاية ..

الحــل

يجب معرفة كمية الحرارة الناتجة من الوقود عند الأحتراق ، وكمية الحرارة بالمياه لتحويلها لحالة البخار . ثم معرفة كمية الحرارة المنقولة من الوقود إلى المياه ؛

لتطبيق المعادلة السابقة يجب معرفة :

- انثالبيا البخار المشبع الجاف عند ضغط $100\ P_{sia}$ (أى h_1)
- انثالبيا مياه التغذية عند درجة حرارة $140\ F^0$ (أى h_2)

من جدول خواص البخار المشبع عند ضغط $100\ P_{sia}$ نحصل على

$$h_g = h_1 = 1187\ \text{Btu / lb}$$

وللحصول على h_2 لمياه التغذية من جداول خواص البخار عند درجة حرارة $140\ F^0$ نحصل على :

$$h_f = h_2 = 107.89\ \text{Btu / lb}$$
$$\cong 108\ \text{Btu / lb}$$

ولتطبيق معادلة كفاءة الغلاية نجد أن :

m_s = 10 lbs / lb of fuel

h_1 = 1187 Btu / lb

h_2 = 108 Btu / lb

heating value of the fuel = 19,600 Btu / lb

$$\text{Boiler efficiency} = \eta_b = \frac{m_s(h_1 - h_2)}{\text{heating value of the fuel}}$$

$$= \frac{10(1187 - 108)}{19{,}600} \times 100$$

$$= 55\ \%$$

(4-4) معدات إحتراق الوقود Fuel burning equipment (or Firing equipment)

يجب أن تكون لمعدات احتراق الوقود المقدرة ، بكفاءة وتحكم ، على تحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة حرارية والتى بدورها تمتص بأسطح تسخين الغلاية وتنقل إلى مياه الغلاية وتتبخر فى المحمص (superheater) والسخان التمهيدى (reheater) .

تعتمد عملية الاحتراق على : وجود الوقود والهواء ، الخلط بين الوقود والهواء ، إشعال الخليط ، توزيع الشعلة

للحصول على نظام إحتراق نموذجى يجب أن يتحقق الآتى :

- عدم زيادة الاكسجين فى المنتج النهائى لعملية الاحتراق .
- الخلط الكافى والتأثير السريع بين الوقود والاكسجين .
- الاشعال المباشر والمستمر للوقود عند وصوله للفرن .
- إستخدام طريقة فعالة للمعالجة والتخلص من الشوائب الصلبة الموجودة فى الوقود .
- توزيع متعادل للحرارة الناتجة من معدات الاحتراق ، لأسطح إمتصاص الحرارة .
- مدى إحتراق متسع ومستقر .
- إستجابه سريعه للتغير فى الحمل .
- الموثوقية فى المعدات مع أقل صيانة ممكنة لها .

فى هذا الجزء سنتعرض بالتفصيل إلى أنواع الولاعات ....

أنواع الولاعات :

1- ولاعة الغاز (Gas burner)

تصمم ولاعة الغاز لتجهيز الخلط المؤالف (intimate mixing) لغاز وهواء الاحتراق. تتم الطريقة التقليدية للحصول على هذا الخلط بانبثاق الغاز من عدد من الفتحات الصغيرة بالولاعة ثم مواجهتة بهواء الاحتراق الذى يمر خلال خانق تنظيم تيار السحب (damper) أو من خلال الريش الموجهة Vanes وهى تساعد على تنظيم وخلط الهواء دائريا ، ولمساعدة عملية الخلط يكون ضغط الغاز عاليا نسبيا .

يوضح شكل (13-4) أحد أنواع الولاعات الغازية الشائعة

2- ولاعة الوقود السائل (Oil burner)

تحتاج ولاعات الوقود السائل إلى المعالجة التمهيدية للوقود قبل التغذية به .

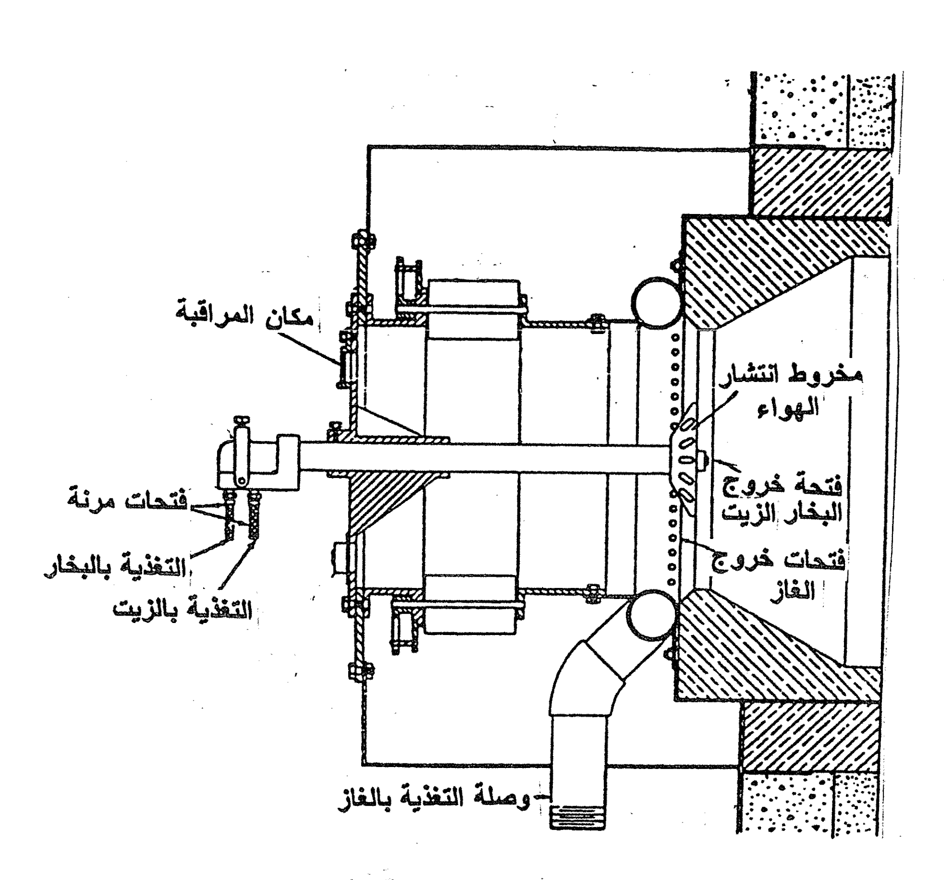
وتتم هذه المعالجة بإستخدام المعدات التالية :

* المصفاه (strainer)

وعن طريقها يتم إحتجاز الشوائب الصلبة المتسربة إلىالوقود من الخزانات ومن مواسير تغذية الوقود .

* المسخن التمهيدى (preheater)

والذى يوفر درجة لزوجة (viscosity) مناسبة للوقود .



شكل (13- 4) ولاعة الغاز

يتم تجهيز الوقود السائل بإحدى الطريقتين الآتيتين :
أ- تبخير الوقود أو تحويله إلى غاز عن طريق التسخين داخل الولاعة . وفى هذه الحالة تعرف الولاعة بولاعة التبخير (vaporizing burner) .
ب- تذرية الوقود أى تفتيته إلى جسيمات صغيرة متعددة . وفى هذه الحاله تعرف الولاعة بولاعة التذرية (Atomization burner) .
تعتمد الفكرة الأساسية للولاعة السائلة على تغيير الزيت السائل إلى غاز أو بخار وخلطه بالهواء لامكانية حدوث الاحتراق .
فى بعض الولاعات ذات السعة الصغيرة ، ينتج البخار بالتسخين المباشر للزيت مثل :
- الولاعات من نوع ذى الفتائل (wick type burners) أو من النوع المرجلى (pot type burners) والتى عادة تستخدم فى التطبيقات المنزلية .
بينما فى الولاعات ذات السعة الكبيرة والمستخدمة فى الصناعة لتوليد البخار ، فإنه يتم تذرية (atomize) الزيت السائل أولا ، ثم تحويله إلى بخار . التذريه عبارة عن تفتيت الزيت إلى ملايين من القطرات (droplets) ، حتى يمكن تعريض أكبر مساحة ممكنة من سطح الوقود للحرارة . وبتعريض القطرات للهواء ينتج بخار عند معدل عالى جدا . يجب أن تنتج عملية التذرية أحجام صغيرة جدا من القطرات للحصول على تبخر سريع ـ كذلك يجب أن تكون أحجام القطرات متماثلة وذلك للحصول على تبخير منتظم ، وتوزع القطرات بالتساوى من فوهة الولاعة .
وإعتمادا على نوع الولاعة ، فإنه يمكن عمل التذرية بعدة طرق ......
أحد هذه الطرق تستخدم الهواء أو البخار تحت ضغط لتفتيت الزيت إلى قطرات .
إستخدام البخار ينتج درجة عالية من التذرية وبالتالى إحتراقا أكثر نظافة ، بينما عند إستخدام الهواء للزيوت الثقيلة فإننا لا نحصل على درجه عالية من التذرية مثل البخار ، ويرجع ذلك إلى تأثير التبريد المفاجىء للهواء عند تعرضه للزيت الساخن .
الطريقة الثانية للتذرية :- أن يدفع الزيت تحت ضغط خلال الفوهة المناسبة . وتعرف هذه الطريقة بالتذرية الميكانيكية ، وعلى الرغم من بساطة هذه الطريقة إلا أنها تؤدى إلى تذرية منخفضة الجودة عن الأنواع الأخرى .

وفى الطريقة الثالثة : - تستخدم قوة الطرد المركزى (centrifugal force) لتكسير أو تفتيت الزيت إلى رذاذ دقيق(fine spray) . ويتم ذلك بإستخدام كأس إسطوانى أو مخروطى يدور بسرعة عالية لغزل الزيت فى شكل تذرية .

الطريقة الرابعة للتذرية :- تستخدم الولاعة الصوتية (acoustic burner) والتى تعتمد على إهتزاز الترددات العالية لتذرية الوقود ، ونحصل على هذا الأهتزاز بالتسليط المباشر للهواء أو البخار على هزاز (vibrator) يكون قريبا من مقدمة الولاعه .

ولاعات التذريه بالهواء أو البخار

(Steam or Air Atomizing Burners)

فى هذه الأنواع يتم ضخ الزيت خلال ثقب ثم دفعه بواسطة نافورة من الهواء أو البخار ذى الضغط العالى. ثم يحدث الاتصال بين الزيت والهواء (أو البخار) داخل أو خارج مقدمة الولاعة (burner tip) إعتمادا على تصميم الولاعة .

يوضح شكل (4-14) ولاعات التذرية بالهواء أو البخار .

يوضح شكل (4-14)أ ولاعة الخلط الداخلى (internal mixing type) ، وأحيانا تسمى ولاعة المذرى الحساس (emulsion atomizer) ، حيث يسمح بخلط الزيت والبخار فى غرفة الخلط ، يمر هذا الخليط فى الأنبوبة الحساسة (emulsion tube) إلى الفوهة والتى ينبثق منها رذاذ التذرية إلى الفرن .

ويبين شكل (4-14) ب ولاعة الخلط الخارجى (external mixing type) ، حيث يضخ الزيت تحت ضغط إلى الأنبوبة الوسطى (central tube) للولاعة . ثم يسمح بمرور الهواء المضغوط أو البخار إلى الفراغ الحلقى المحيط بالأنبوبة الوسطى ، وتحدث التذرية عند قمة الولاعة . ويتم تنظيف هذا النوع بسهولة.

ويكون مدى الضغط المطلوب لولاعات التذرية بالهواء أو البخار من $20\ P_{si}$ إلى $80\ P_{si}$ للزيت ، بينما يكون من $100\ P_{si}$ إلى $150\ P_{si}$ للبخار أو الهواء .

ولاعات التذرية الميكانيكية (Mechaniacal Atomizing Burners)

تعتمد فكرة هذه الولاعات على أنه عندما يندفع الزيت تحت ضغط من فتحة صغيرة إلى مساحة لها ضغط منخفض تؤدى إلى تكسيره على شكل نافورة من القطرات الصغيرة .

يوضح شكل (4-15) ولاعة التذرية الميكانيكية , وفى هذا النوع يندفع الزيت إلى فوهة الولاعة تحت ضغط عالى فى الحدود من 70 Psi إلى 300 Psi ، يمر الزيت فى المجارى الضيقة المتماسكة إلى غرفة الحركة الدوامية ، تكون المجارى مرتبة بحيث يدور الزيت بسرعة عالية فى هذه الغرفة . عندئذ يندفع الزيت خلال فتحة الفوهة على شكل رذاذ مخروطى من القطرات الصغيرة . فى هذا النوع يمكن إستخدام أى درجة من الزيوت السائلة ، وفى حالة الزيوت السائلة الثقيلة يتم أولا معالجتها بالتسخين التمهيدى لتحسين لزوجة الزيت ...

يوضح جدول (4-27) بعض أنواع الولاعات المستخدمة لأنواع مختلفة من الوقود .

3- الولاعات المشتركة للوقود الغازى أو السائل أو الفحم المسحوق

أ- الولاعة الدائرية للفحم المسحوق أو الغازى أو السائل

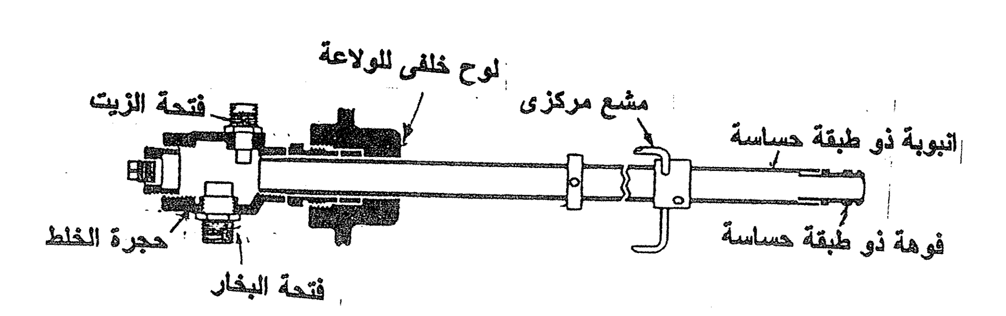
(circular burner for pulverized coal , oil , or gas)

يوضح شكل (4-16) هذا النوع والذى يمكن فيه إستخدام أما الوقود السائل أو الغازى أو الفحم المسحوق . وعادة يستخدم للسعات **165 million Btu / hr**

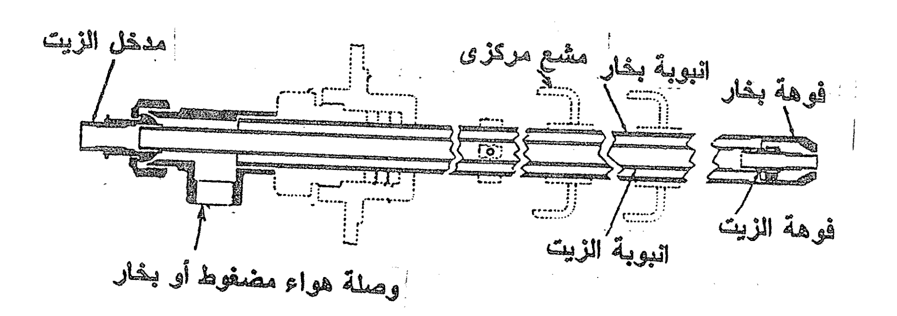
ب- ولاعة الخلايا للفحم المسحوق أو الغاز أو السائل

(cell-type burner for pulverized coal , oil , or gas)

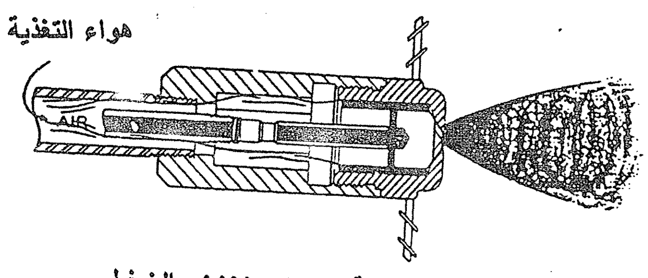
يوضح (4-17) هذا النوع والذى يمكن فيه إستخدام أما الوقود السائل أو الغاز أو الفحم المسحوق . يمكن أن تحتوى هذه الولاعة على فوهتين أو أربعة ، ونحصل منها على خصائص أشعال ممتازة من النوع الدائرى . عند استخدام الغاز يتم الإشعال خلال عنصر السدادة الثابتة (fixed-spud-type) والموجود فىحنجرة الولاعة ....
بينما لإشعال الزيت يتم التذرية بإستخدام الهواء المضغوط أو البخار .



(أ) ولاعة خلط داخلى



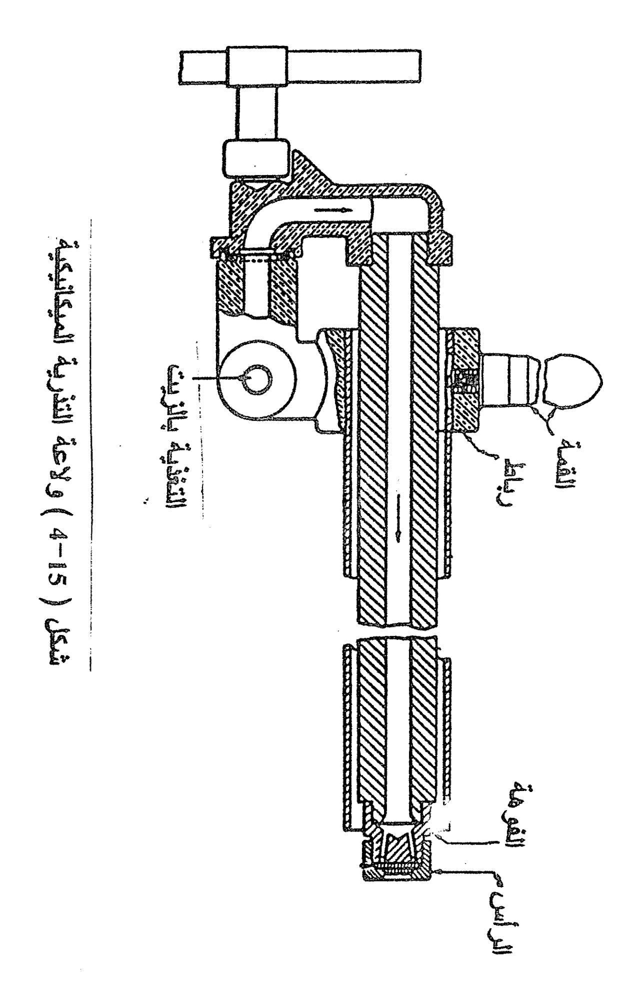
(ب) ولاعة خلط خارجى



(ج) ولاعة تذرية بالهواء منخفض الضغط

شكل (14-4) ولاعات الزيت

(ادارة طلب الطاقة -١)

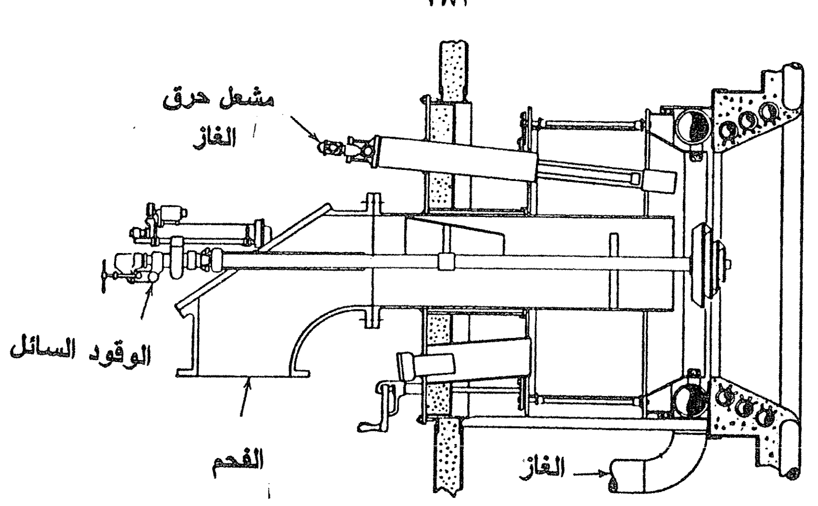


شكل (4-15) ولاعة التذرية الميكانيكية

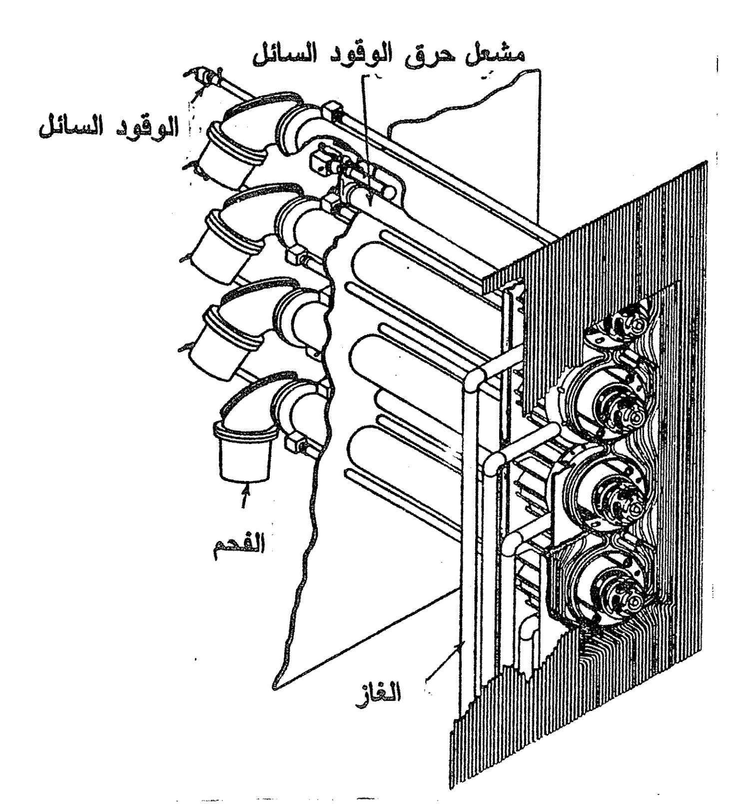
جدول (27-4)

أنواع الولاعات المستخدمة لبعض أنواع الوقود

نوع الوقود	نوع الفرن (الولاعه)
غاز طبيعى	- ولاعات تحتوى على أرياش للتحكم فى دخول الهواء . - ولاعات متعددة الوقود .
زيت الوقود	- ولاعات عالية السعة والكفاءة تحتوى على أرياش للتحكم فى دخول الهواء . - غلايات تقليدية .
السائل الكحولى الأسود (ليكر)	- أفران الاسترجاع الخاصه بعمليات عجينة ورق الكرافت والصودا .
فحم	- ولاعة ذات تغذية سفلية .
فحم مسحوق	- فرن مبرد بالكامل بالمياه لتصريف الخبث أو لإزالة الرماد الجاف .
خشب	- ولاعات تعمل بالخشب .
باجاز	- جميع أنواع الولاعات .



شكل (16-4) ولاعة دائرية للفحم المسحوق أو الغاز أو السائل



شكل (17-4) ولاعة الخلايا للفحم المسحوق أو الغاز أو السائل

(4-5) إستعادة الحرارة المتبددة فى الغلايات

Waste heat recovery from Boilers

تتبدد فى الغلايات طاقة حرارية من المصادر الرئيسية الآتية :

1- غازات العادم .

2- هبوط ضغط بخار العمليات .

3- التفوير (Blowdown) والبخار المتكاثف .

4- مفقودات الأشعاع والحمل من جسم الغلاية .

وفيما يلى توضيح لكل حالة :

1- إستعادة الطاقة من غازات العادم

(Energy Recovery From Exhaust Gases)

تصمم الغلايات للعمل عند درجة حرارة معينة لغازات العادم وتحت ظروف تشغيل محددة . تعمل الغلايات عند درجات حرارة مختلفة لغازات العادم ، على الرغم من تصميمها للعمل عند حدود درجة حرارة لغازات العادم من $300\ F^0$ إلى $550\ F^0$ (حوالى من $50\ F^0$ إلى $100\ F^0$ أعلى من درجة حرارة البخار) .

تتغير درجة حرارة غازات العادم أثناء عمل الغلاية , حيث تتأثر هذه الحرارة بعدة عوامل منها : نوع الوقود المستخدم ، ونسبة الهواء إلى الوقود ، وخصائص الولاعة ، والحمل ويمكن تقليل درجة حرارة الغازات بالتحكم فى أى من هذه العوامل .

إذا أمكن تخفيض درجة حرارة غازات العادم , عندئذ تتحسن كفاءة الغلاية ولكن يجب الحفاظ على حدود معينة لدرجة حرارة الغازات وذلك لتجنب حدوث تآكل للمدخنة وتعتمد هذه الحدود على نوع الوقود المستخدم .

لمعدات إستعادة الحرارة التقليدية ، يكون التقدير لأقل حدود درجة الحرارة كالآتى :

* الغاز الطبيعى $250\ F^0$
* زيت رقم 2 $275\ F^0$
* زيت رقم 6 (منخفض الكبريت) $290\ F^0$
* زيت رقم 6 (عالىالكبريت)/ فحم $300\ F^0$

يعتمد الحد الأدنى الفعلى على نوع المدخنة ودرجات حرارة البيئة المحيطة . فى بعض نظم الأستعادة يمكن أن تقل درجة حرارة المدخنة إلى حوالى $100\ F^0$

يمكن إستخدام الطاقة الناتجة من غازات العادم فى أغراض تسخين مختلفة .

وتصنف هذه الأغراض كالآتى :

أ - أغراض مساعدة للغلاية .

* تسخين متقدم (preheat) لمياه الغلاية .
* تسخين متقدم لهواء الأحتراق .

ب - أغراض أخرى

* تسخين المبانى .
* تسخين المياه .
* تسخين لعمليات مختلفة .

يمكن إستخدام غازات العادم مباشرة لأغراض تسخين عمليات محددة والتى أغلبها يعتمد على المبادلات الحرارية (Heat exchangers) .

فيما يلى بعض المبادلات الحرارية والتى تستخدم لاستعادة الطاقة من غازات العادم ومن تفوير الغلايات :الدفه الساخنة ، الأنبوبة ذو الزعانف ، الأنبوبة والجدار ، مواسير ساخنة وفيما يلى توضيح لكل نوع

1- الدفة الساخنة (Heat wheel)

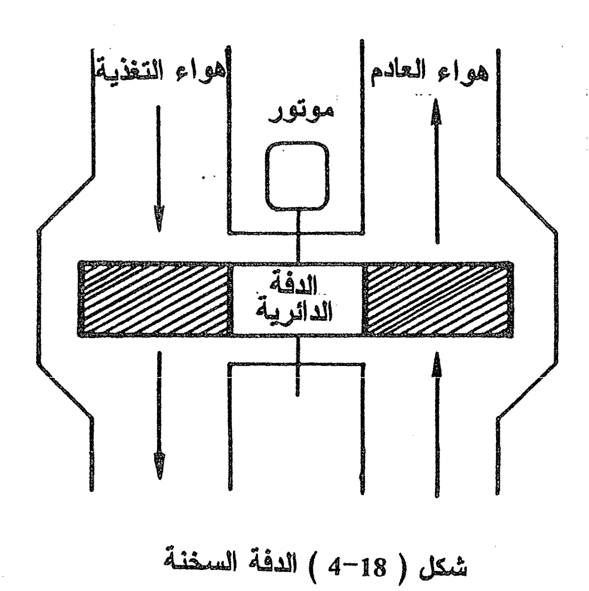
هى عبارة عن معدة تدور خلال مجرين أحدهما ساخن والأخر بارد ، يمتص الجانب الساخن للدفة طاقة الغازات الساخنة ممثلة فى إرتفاع الطاقة الكامنة المحسوسة فى الدفة.

بدوران الدفة إلى الجانب البارد تسخن الغازات فى المجرى البارد .

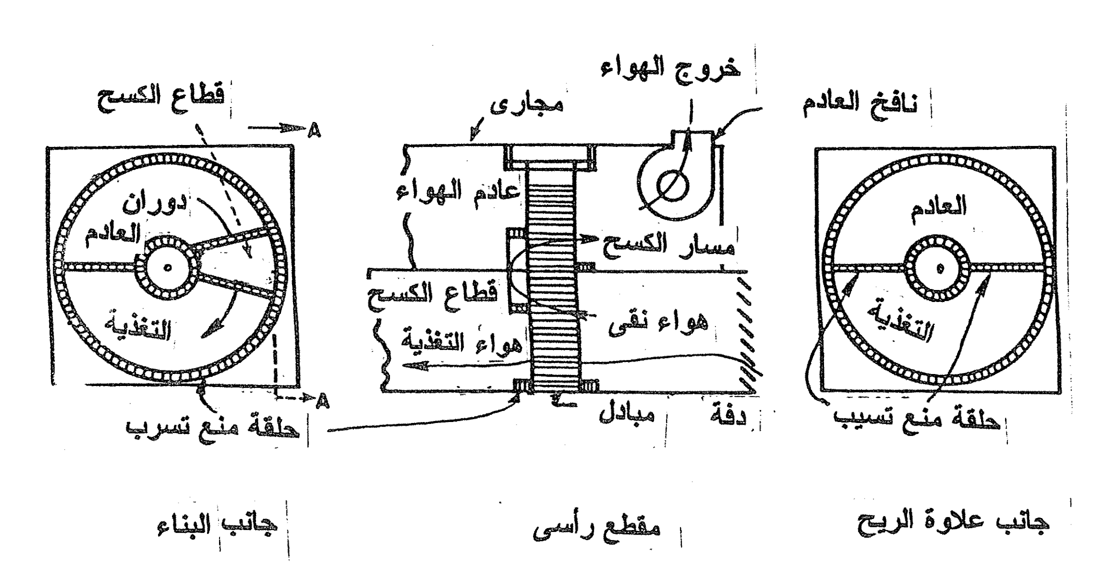
أنواع الدفات المستخدمة لغازات العادم تكون مغطاة بمادة مرطبة .

يوضح شكل (4-18) تمثيل الدفه الساخنة ، تكون فاعلية الدفه حوالى 85% ، ومعدل السريان 40000 قدم مكعب لكل دقيقه ، والقطر 70 قدم ، غالبا تستخدم الدفة الساخنة لتسخين متقدم لهواء الأحتراق بالغلاية أو لعملية تسخين الهواء .

شكل (4-19) يوضح ذلك .



شكل (18-4) الدفة السخنة



شكل (19-4) دفة ساخنة تحتوى على قطاع كاسح لنظافة تلوث اسطح المبادل الحرارى

2- الأنبوبة ذو الزعانف (Finned Tube)

يضاف المبادل الحرارى من نوع الأنبوبة ذى الزعانف ، فى الغلايات ذات درجات الحرارة المرتفعة لغازات العادم ، لتسخين متقدم لمياه التغذية وتخفيض درجة حرارة غازات العادم توصل أنابيب ملفوفة معا فى حزم لتسخين السائل وتلحم الزعانف فى الأنابيب لتجهيز أسطح إضافية لاكتساب الحرارة المتبددة فى الغازات .

يوضح شكل (4-20) هذا النوع .

3- الأنبوبة والجدار (shell-and-tube)

يستخدم هذا النوع كمبادل حرارى لتسخين السوائل . ويوضح شكل (4-21) مقطع فى أحد أنواع المبادل الحرارى ذو الأنبوبة والجدار المفرد ، ويوضح شكل (4-22) وحدات متعددة المسارات .

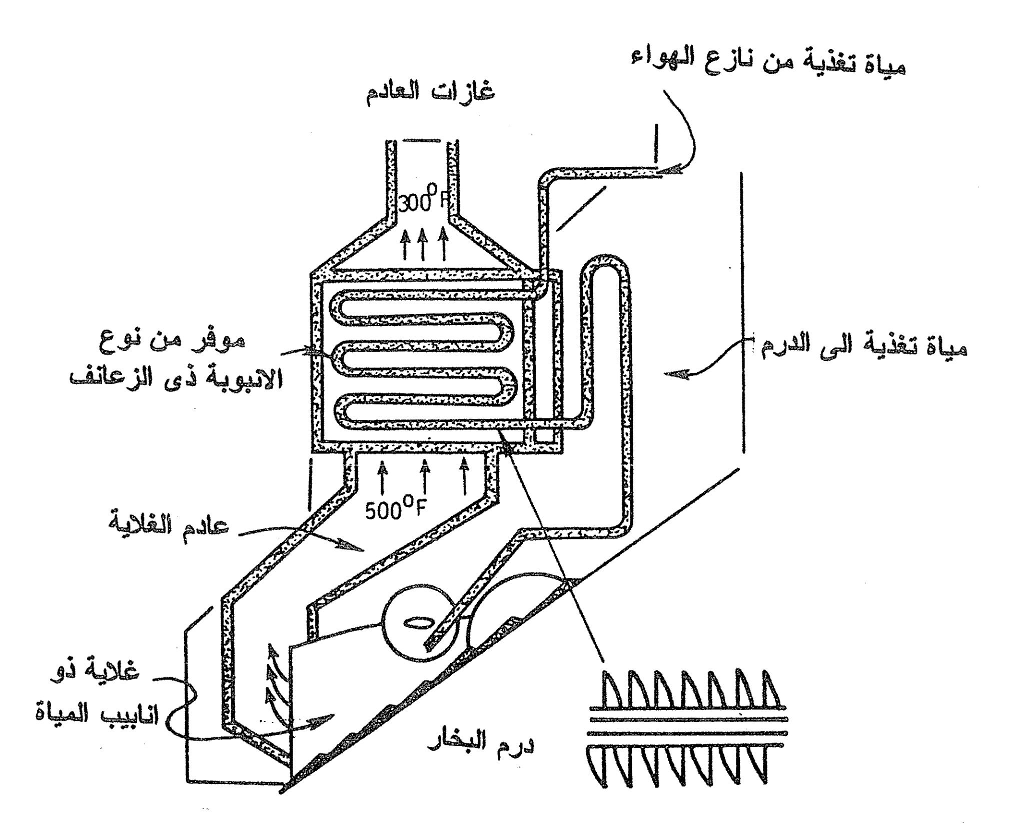
يستخدم هذا المبادل لإستعادة طاقة البخار المتكاثف وطاقة التفوير. يمر أحد السائلين داخل الأنابيب ، بينما يدفع السائل الأخر خلال جسم الجدار (shell) وفوق الأنابيب وحولها ، للتأكد من أن هذا السائل سوف يمر خلال الأنابيب ويتأثر بتبادل حرارى أعلى ، فإنه يتم وضع توجيهات (baffles) على جسم الجدار .

4- المواسير الساخنة (Heat pipe)

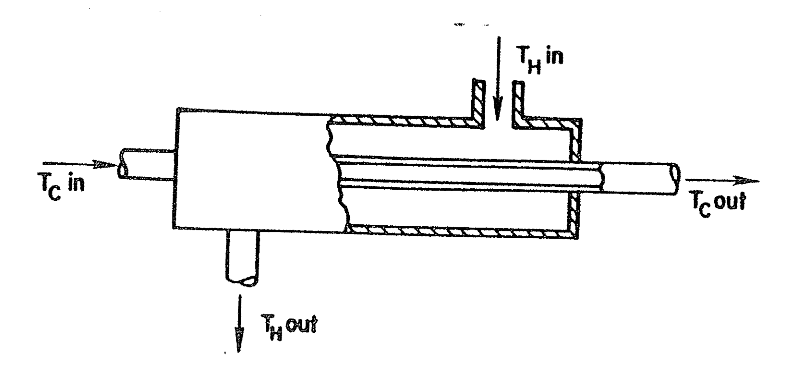
فى هذا النوع تستخدم المواسير لنقل الطاقة . أساسا يعمل المبادل الحرارى ذو المواسير الساخنة عند دورة قريبة من دورة ثبات البخار ، تحتوى المواسير على مادة فتيل شعرية (capillary wick) . عند الجانب الساخن ، تتجمع الطاقة ويتبخر السائل من خلال مادة الفتيل . يعمل هذا النوع على تدريج الضغط الذى يدفع البخار إلى الجانب البارد ؛ والذى عنده يحدث تكاثف للبخار وتتحرر حرارة البخار الكامنة . يعود السائل إلى الجانب الساخن بخاصية الأنتشار خلال الفتيل .

يوضح شكلى (4-23) ، (4-24) مكونات المبادل الحرارى ذى المواسير الساخنة . يتم إضافة زعانف للمواسير الساخنة لتحسين قيمة خصائص الطاقة المنقولة للأسطح الخارجية .

يمتاز هذا النوع بعدم حدوث تلوث ولايحتاج إلى صيانة داخلية .

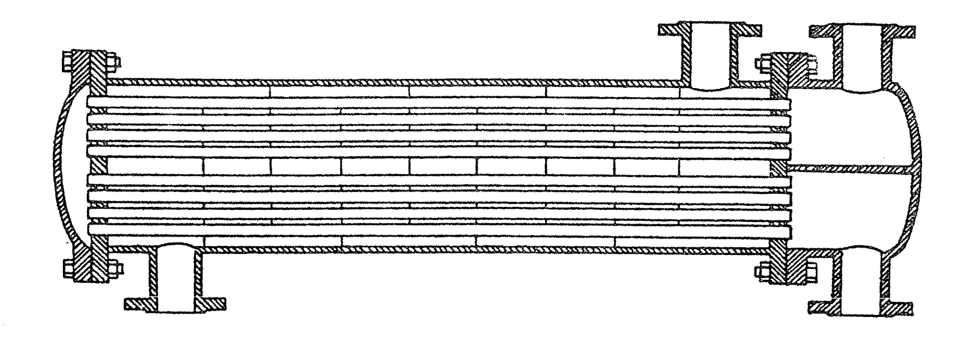


شكل (20–4) مبادل حرارى من نوع الانبوبة ذى الزعانف

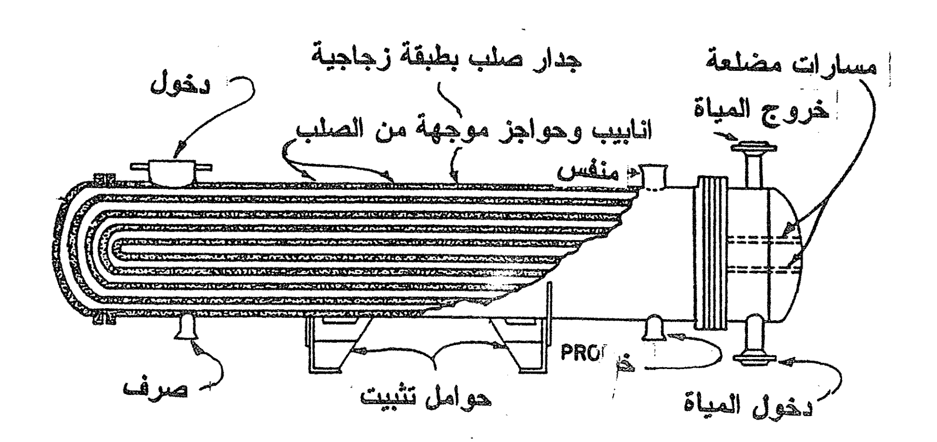


شكل (21–4) مبادل حرارى ذو الانبوبة والجدار المفرد

(ادارة طلب الطاقة -١)

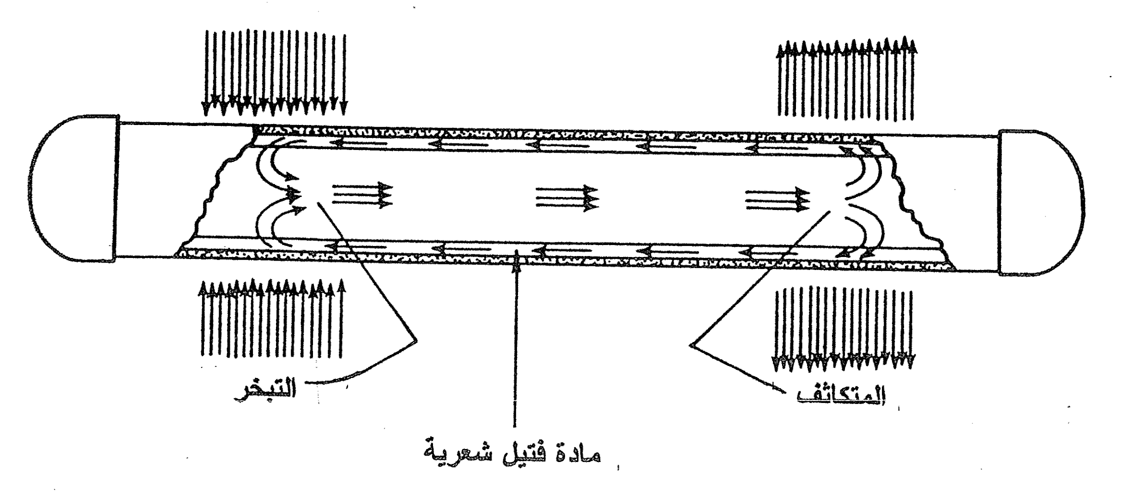


(أ) انبوبتان وجدار واحد

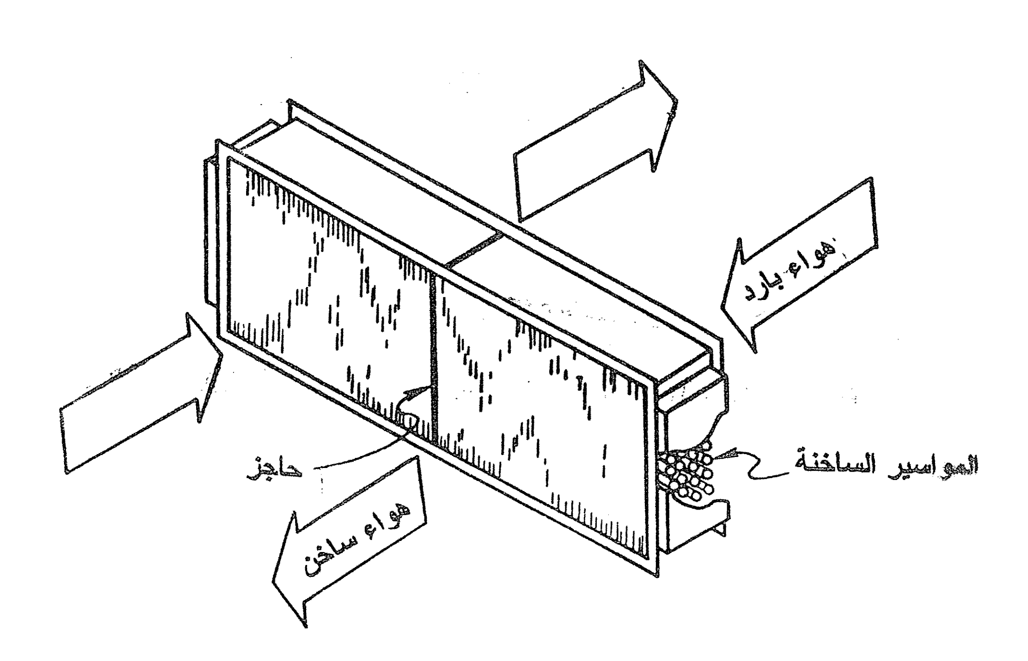


(ب) حزمة على شكل حرف U

شكل (22-4) مبادل حرارى ذو الانبوبة والجدار متعدد المسارات



شكل (23-4) مبادل حرارى ذو المواسير الساخنة



شكل (24-4) مبادل حرارى ذو المواسير الساخنة

2- إستعادة الطاقة من ضغط البخار الزائد

Energy Recovery From Excessive Steam Pressure

(2-1) تربينات ذات صمامات خنق (Throttling Turbines)

أحيانا يكون توليد بخار عند الضغط المطلوب للعمليات غير عمليا . لذا يضاف صمام خنق لتخفيض الضغط إلى المستوى المطلوب وتعرف التربينة عندئذ بالتربينة ذى صمام الخنق أو بتربينة الضغط المرتد (back pressure) ، ويوضح شكل (4-25) هذا النوع .بينما يوضح شكل (4-26) تربينة المتكاثف (condensing turbine) .

إقتصاديا يعتمد تركيب تربينات الضغط المرتد على قيمة التخفيض المطلوب للضغط ، ومعدل سريان البخار ونوع الحمل المطلوب .

3- إستعادة الطاقة من التفوير

(Energy Recovery From Blowdown)

تضاف المياه إلى نظام التغذية بالمياه (Feed water) لتعويض الفقد فى البخار والمتكاثف ، هذه المياه تحتوى على مواد صلبه والتى يجب أن تفور (أى تصرف المياه من قاع الغلاية) لمنع إنسداد الغلاية . يعتمد عدد مرات التفوير على كمية المواد الصلبة أو القلوية الموجودة بمياه التعويض .

يمكن إستخدام مياه التفوير للتسخين المتقدم لمياه تغذية الغلاية ويتم ذلك بإحدى الطريقتين الآتيتين :

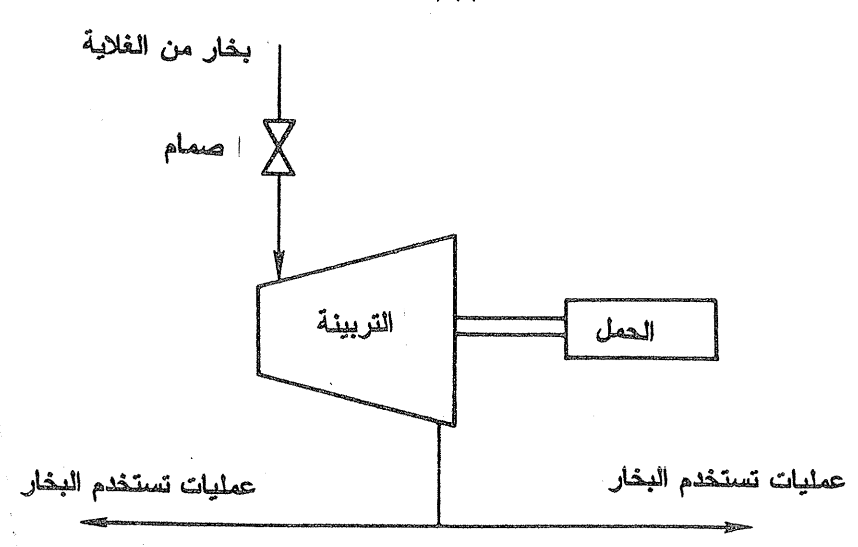
أ- نظام خزان الوميض Flash tank system

يوضح شكل (4-27) هذا النظام ، والذى يجب إستخدامه عند الحاجة إلى تقليل النفقات إلى أدنى حد . حيث يتم تحويل مياه التفوير إلى بخار ومضى بتقليل الضغط فى خزان الوميض . هذا البخار يغذى مياه تغذية الغلاية .

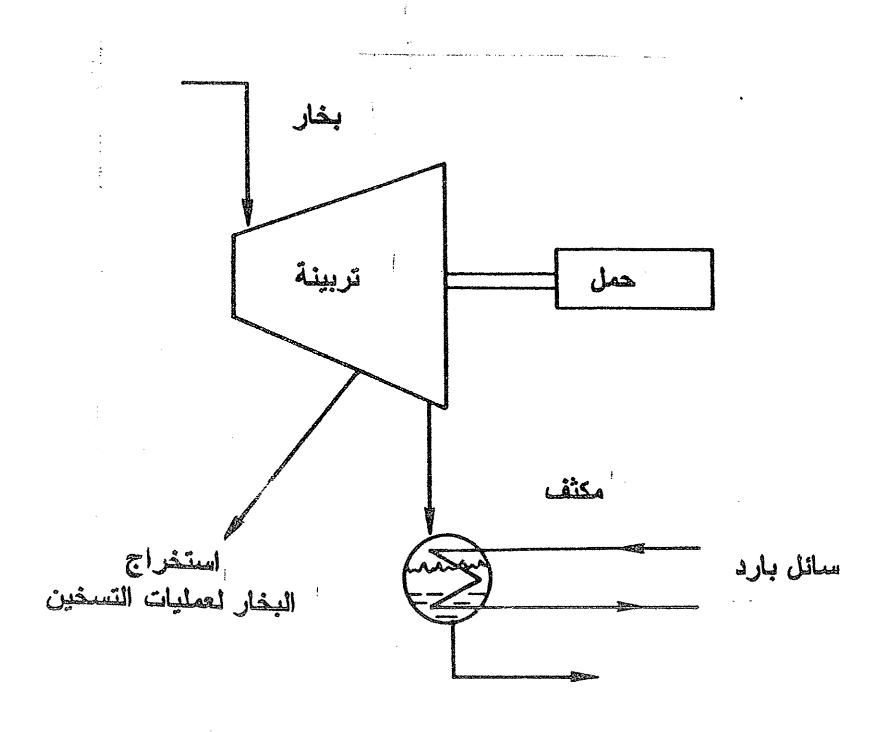
يستعيد هذا النظام حوالى 50% من الطاقة المتحررة من مياه التفوير

ب- نظام خزان وميض ومبادل حرارى (Flash tank-heat exchanger system)

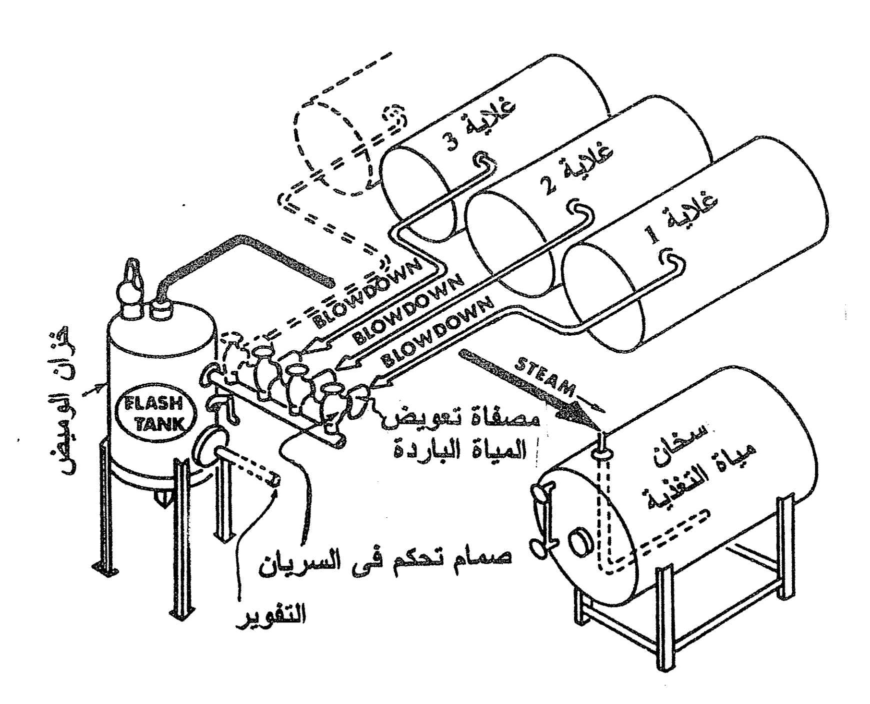
يوضح شكل (4-28) هذا النظام . تكون درجة حرارة التفوير الخارجة من خزان الوميض



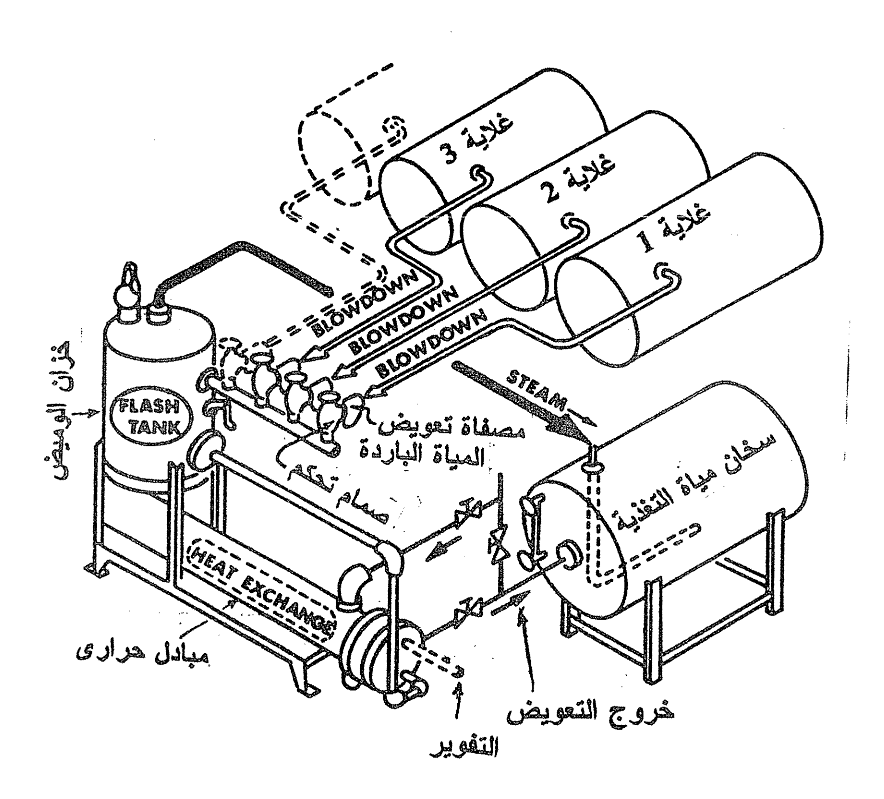
شكل (25-4) تربينة الضغط المرتد



شكل (26-4) تربينة المتكاثف



شكل (27-4) نظام خزان الوميض



شكل (28-4) نظام خزان الوميض ومبادل حرارى

أعلى من $220\ F^0$ والتى تستخدم لتسخين مياه المبادل الحرارى والتى بدورها تغذى مياه تغذية الغلاية . هذا النظام يضيف وفر تقريبا 35% من طاقة مياه التفوير .

4- الأشعاع والحمل من غلاف الغلاية

Radiant and convective from skin of boiler

يفقد حوالى 2% من طاقة الوقود عند أقصى حمل من خلال غلاف أو جسم الغلاية ، بحجرة الغلاية أو بالجو المحيط بالغلاية . ويكون الفقد الحرارى ثابت تقريبا على مدى حدود عملية الحريق ، وعليه فإنه عند تحميل 25% تفقد الغلاية 8% من طاقة الوقود . يمكن إستعادة بعض هذه الطاقة عن طريق نقل الهواء الساخن خلال مواسير إلى مراوح هواء الأحتراق .

الباب الخامس

الأفـران

Furnaces

تعتبر الأفران أحد وسائل فرص ترشيد أستخدام الطاقة اعتمادا علـى حجـم ونـوع الفـرن ، نوع الوقود ، طرق التحكم المستخدمة ....

سنتعرض في هذا الباب إلى التعريف بأنواع الأفران الآتية :

- الفرن العالى
- فرن الحث الكهربى
- أفران القوس الكهربى
- أفران المقاوم
- القمـــائن

يجب الاهتمام بتحسين التشغيل والصيانة وأجهزة القيـاس والتحكـم للأفـران . كذلـك يجـب استخدام مواد عازلة جيدة ومواد مقاومة للصهر حيث أنها تتعرض للتـآكل الشـديد نتيجـة التغير الدورى لدرجة الحرارة .

(5-1) أنواع الأفران

الفرن العالى Blast Furnace

يستخدم الفرن العالى لصهر الحديد الخام للحصول على الحديد الزهر .

يكون الوقود المستخدم فى الفرن العالى إما فحم الكوك أو الفحم النباتى ـ حاليا من النادر أستخدام الفحم النباتى لغلو سعره ـ ونحصل على الكوك من نواتج التقطير الاتلافى للفحم الجيرى ، حيث يصبح الفحم ساميا وبه نسبة عالية من الكربون ولا توجد به مواد متطايرة .

عموما يجب أن يتوافر فى وقود الفرن العالى الشروط الأتية:

ذو حجم مناسب ـ متماسك ـ ذو تفاعلية (reactivity) عالية ـ نسبة المواد المتطايرة أقل ما يمكن ـ نسبة الرماد والكبريت أقل ما يمكن .

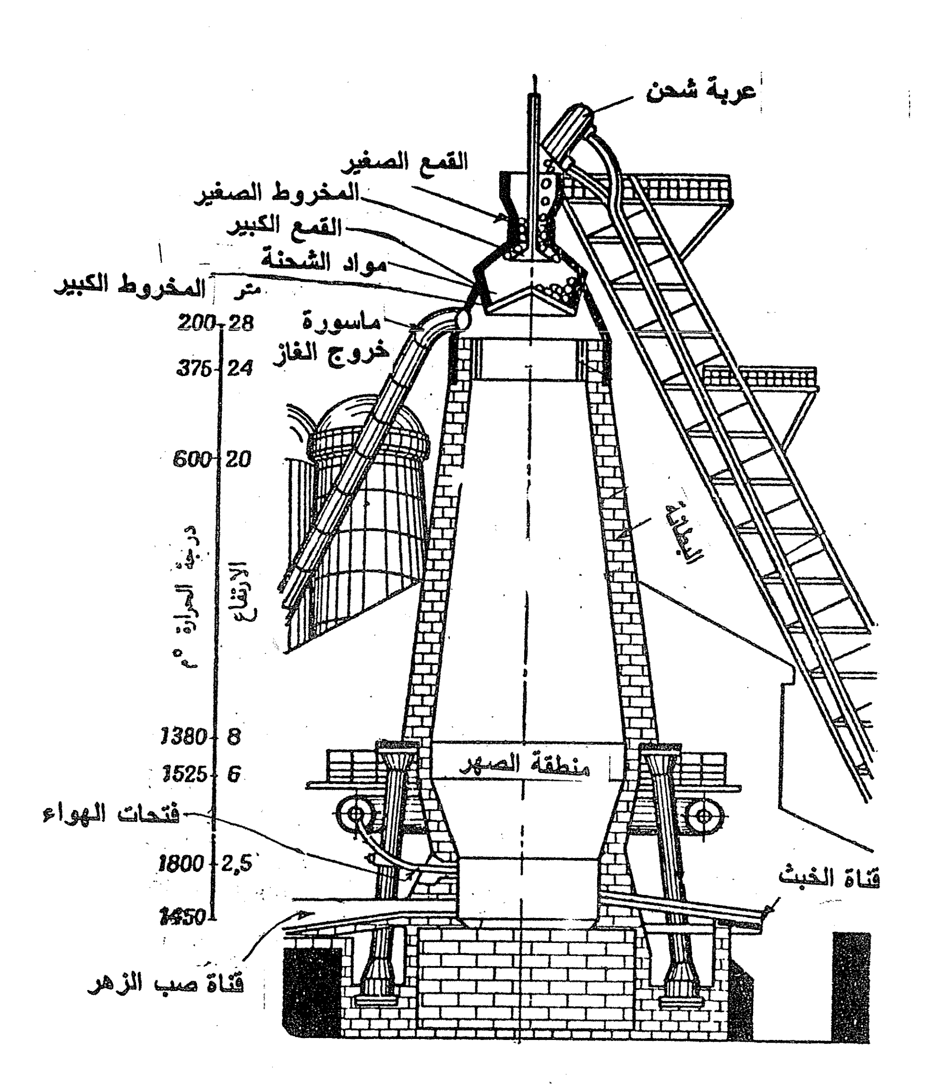
وتحتاج عملية الصهر لمساعد عبارة عن كربونات الصوديوم والتى تتحلل عند درجة حرارة حوالى $900\ ^0C$ والجير الناتج يتحد مع الشوائب الموجودة فى الخام وأهمها السليكا والكبريت مكونا الخبث .

يوضح شكل (5-1) مكونات الفرن العالى . وقد يصل إرتفاع الفرن العالى إلى 35 متر ويكون الفرن مغطى بغلاف ملحوم أومبرشم من ألواح الصلب (الصاج) . ويستخدم الطوب الحرارى لتبطين الفرن العالى والذى يمتاز بتحمل درجات الحرارة العالية جدا ، حيث تصل درجة حرارة الفرن فى بعض أجزائه إلى $1900\ ^0C$

تستخدم أنواع من البطانات فى الفرن الواحد أهمها الطوب الكربونى ـ طوب الألومينا ـ طوب أكسيد السليكون ، و يستخدم الطوب الكربونى فى بئر الفرن فقط .

تتلخص العمليات التى تتم داخل الفرن فى الخطوات الآتية :

1- يبدأ أحتراق الفحم عند مستوى فتحات نفخ الهواء وتسمى هذه المنطقة بالمنطقة المؤكسدة لوجود الأكسجين فيها ، تقل نسبة الأكسجين فى الغازات بالتدريج وتزداد نسبة ثانى أكسيد الكربون حتى تصل إلى أقصى نسبة لها فوق مستوى فتحات نفخ الهواء وتصل درجة حرارة الغازات إلى أقصى قيمة لها $1900\ ^0C$ عند هذا المستوى ثم يتصاعد ثانى أكسيد الكربون خلال الشحنة ويتفاعل مع فحم الكوك.



شكل (1-5) مقطع بالفرن العالى

هـذا التفاعل يحتاج إلى كمية من الحرارة ، لذلك ينتـج عن هذا التفاعل انخفاض كبير فى درجـة حـرارة الغازات .

2- تجفف الشحنة ،لاحتواءها على كمية من الرطـوبة جـزء منها حر والآخر متحد اتحادا كيميائيا مـع الخام ، ينتهى ببخر الرطوبة المتحدة عند درجة حرارة حوالى$500\ ^0C$

3- تتحلل كربونات الكالسيوم (مساعد الصهر) إلى جير والـذى يتحد مع الشوائب مكـونا الخبث .

4- يختزل الخام بواسطة أول أكسيد الكربون على عدة مراحل .

5- تتم عملية الكربنة فى بئـر الفرن حيث يتحد الحديد مع الكـربون مكونا كربيد الحـديد (Fe_3C) والذى يذوب فى المعدن المنصهر.

الغازات الناتجة من الفرن العالي :

تخرج الغازات عند درجة حرارة عالية جدا حوالى $1000\ C^0$ ولذلك تستخدم هذه الغـازات فى تسخين الهواء اللازم لتشغيل الفرن حتى درجـة حـرارة حوالى $800\ C^0$ ويحتوى غـاز الفرن العالـى على نسبـة عالية من أول أكسيد الكربون .

ويكون التركيب الكيماوى للغازات الخارجة من الفرن العالى كالآتى :

H_2	3%
N_2	58%
CH_4	0.3%
$CO + CO_2$	40%

ويستخدم الحديد الزهر الخام الناتج من الفرن العالى فى انتاج الصلب والحديد الزهر .

وفيما يلى تعريف كل منهم :

أ- الحديد الخام

تكون المواصفات المطلوبة للحديد الخام هى :

1- نسبة الحديد أكبر ما يمكن

2- نسبة الشوائب أقل ما يمكن

3- يكون حجم القطعة متوسطا - يتراوح من 80 إلى 100 مم^3

اذا زاد الحجم يصعب احتراقه واختزاله .

تتعرض قطع الخام الصغيرة للفقدان مع الغازات الصاعده ، بينما يصعب اختزال القطع الكبيرة .

ينتج عن عملية تكسير الخام نسبة كبيرة من التراب يتم الاستفادة به بعمل عملية تلبد (sintering) بأن تخلط مع مسحوق الكوك ثم تسخن لدرجات عالية ، حيث يحترق الكوك وتتماسك جزيئات الخام (أى يحدث لها انصهار جزئى) .

ب- الصلب (steel)

هو سبائك الحديد مع الكربون - تحتوى على نسبة من الكربون تتراوح بين 0.6 % إلى 2 % ويحتوى الصلب عادة على بعض الشوائب أهمها :

* السليكون والمنجنيز وهى شوائب غير ضارة
* الفوسفور والكبريت وهى شوائب ضارة

وينقسم الصلب إلى :

1- صلب كربونى

ومنه صلب كربونى منخفض وصلب كربونى متوسط وصلب كربونى عالى وصلب العده

2- الصلب السبائكى

العناصر المستخدمة فى الصلب السبائكى أهمها : الكروم - النيكل - السليكون - المنجنيز ، ويمتاز بخواص معينة مثل المقاومة العالية للصدأ ولدرجات الحرارة ويستخدم للحصول على خواص مغناطيسية وكهربائية .

ومن أنواع الصلب السبائكى : الصلب الذى لا يصدأ - الصلب الكرومى - صلب النيكل كروم - صلب الكروم السليكونى - صلب الجرافيت - الصلب المقاوم للحرارة

جـ- الحديد الزهر

هو سبائك الحديد مع الكربون والتى تحتوى على نسبة من الكربون أعلى من 2 %

يحتوى الحديد الزهر على عناصر أخرى غير الحديد والكربون مثل :

المنجنيز - السليكون وهى شوائب غير ضارة

الكبريت - الفوسفور وهى شوائب ضارة

وفيما يلى توضيح لكل عنصر

السليكون : تتراوح نسبة السليكون فى الحديد الزهر بين % 0.08 إلى % 3.5 ويمتاز بأنه يساعد على تقليل الصلادة ويزيد من قابلية المعدن للانسياب ويقلل من درجة الانصهار ، كذلك يقلل من انكماش الحديد الزهر .

المنجنيز : يعادل التأثير الضار للكبريت ولكن من عيوبه أنه يساعد على زيادة الصلادة .

الفسفور : عند درجات الحرارة المنخفضة ، يزيد الفوسفور من تقصف المعدن ويمتاز بالحصول على قابلية انسياب عالية فى المعدن ويزيد من مقاومة الحديد الزهر للبرى (معامل الاحتكاك) .

الكبريت : عند درجات الحرارة العالية ، يزيد الكبريت من تقصف المعدن ، كذلك يزيد من صلادة المعدن .

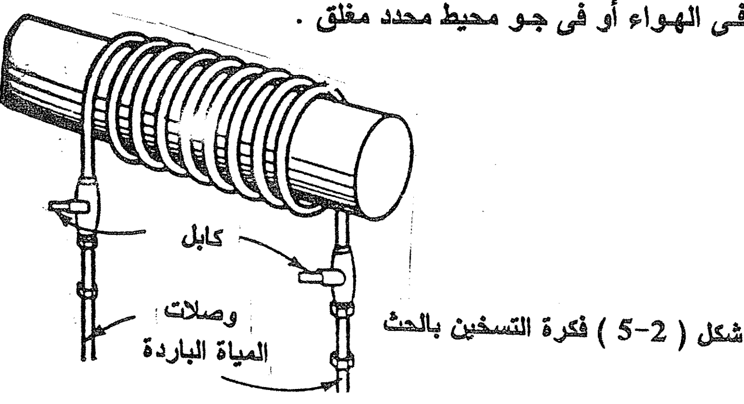
من أنواع الحديد الزهر : الحديد الزهر الرمادى - الحديد الزهر الابيض

فرن الحث الكهربى (Induction Furnace)

يوجد نوعين من أفران الحث الكهربى :

- فرن الحث الكهربى بدون قلب (Core Less Type) والذى يستخدم لصهر المعادن الحديدية (Ferrous metals)
- فرن الحث الكهربى ذو القلب (Core Type) والذى يحتاج لصهر معدن فى فرن خارجى حتى يبدأ العمل .

* يوضح شكل (2-5) مثال لفكرة التسخين بالحث (Induction heating) والذى يعتمد على حدوث مجال مغناطيسى حول الشحنة ، عند مرور تيار متردد بالملف ، عندئذ تسخن الشحنة فى الهواء أو فى جو محيط محدد مغلق .



شكل (2-5) فكرة التسخين بالحث

فى فرن الحث الكهربى ذو القلب الموضح بشكل (3-5) ، تنصهر المادة بالتيارات التأثيرية (eddy currents) ، ويتم التبريد بالمياه الباردة - وتقلب المادة المنصهرة عن طريق القوة الدافعة الكهربائية الناشئة فى المادة ، ويكون حدود التردد من 50 إلى 1000 هرتز، وجهد التشغيل من 1000 إلى 2000 فولت.

يوضح شكل (4-5) مكونات فرن الحث الكهربى بدون قلب ، يتكون ملف الحث الكهربائى من أنبوبة من النحاس الأحمر مجوفة يمر بداخلها مياه تبريد ويمر خلالها تيار الحث الكهربى ، ويستخدم هذا الفرن لصهرالأنواع الجيدة من الصلب وخاصة الصلب السبائكى.

وتكون الكفاءة الحرارية لفرن الحث الكهربى حوالى % 80

أفران القوس الكهربى (Electric Arc Furnaces)

تعمل أفران القوس الكهربى بمبدأ استغلال الحرارة المتولدة عن القوس الكهربى المتكون بين أقطاب من الكربون أو الجرافيت ، وتمتاز أقطاب الجرافيت بتوصيل كهربى أعلى وخواص ميكانيكية أعلى من أقطاب الكربون ، ولكنها أغلى ثمنا ، تبلغ درجة الحرارة المتكونة داخل القوس الكهربى حوالى $6000\ ^0C$

ويتراوح الجهد الكهربى اللازم لإحداث القوس من 90 إلى 280 فولت ، وعادة تغذى هذه الأفران بتيار متردد ذو جهد عالى يتراوح من 6000 إلى 30,000 فولت من خلال محول خاص وتتراوح كمية الطاقة الكهربائية اللازمة لصهر طن واحد من الصلب من 600 إلى 900 كيلووات/ ساعة .

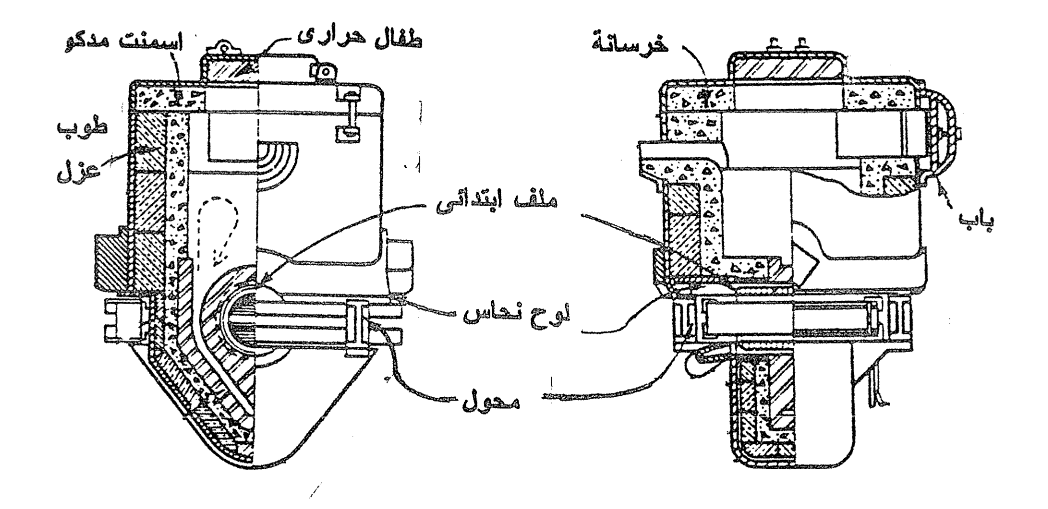
وتنقسم أفران القوس الكهربى إلى :

1- أفران ذات قوس غير مباشر

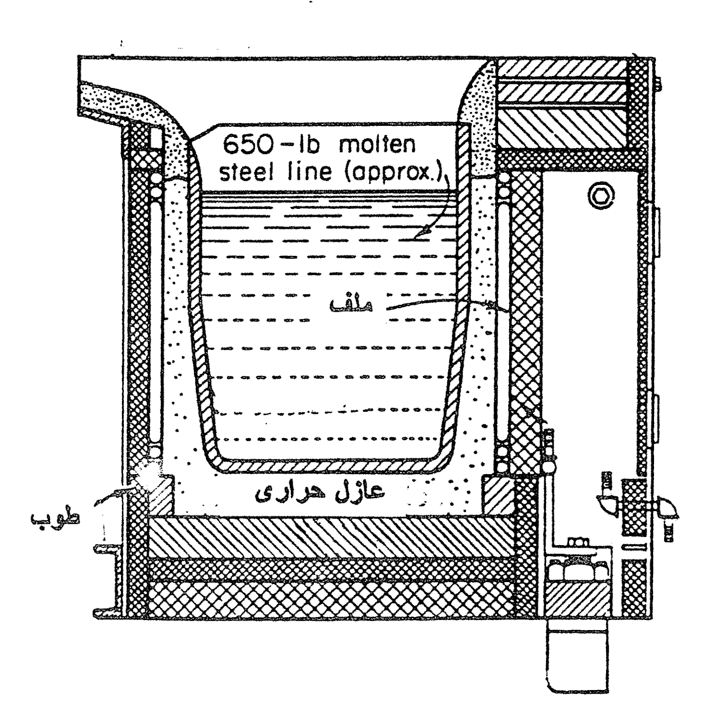
تستخدم لصهر المعادن غير الحديدية مثل سبائك الألومنيوم والنحاس وأحيانا لصهر الحديد الزهر . فىهذا النوع لايكون القوس ملامسا للمادة المراد صهرها - يستمرنشوء القوس بين طرفى القطبين وتنصهر المادة بالإشعاع الحرارى وتقلب المادة عن طريق تأرجح الفرن .

2- أفران القوس المباشر

تستخدم هذه الأفران لصهر الصلب والسباكة .



شكل (3-5) فرن الحث الكهربى ذو القلب



شكل (4-5) فرن الحث بدون قلب

ويتم صهر الشحنة بواسطة حرارة القوس الكهربى المتكون بين الأقطاب والمعدن ويوجد نوعان من هذه الأفران : أحدهما به ثلاثة أقطاب من الجرافيت كما فى شكل (5-5) توصل بالثلاثة أوجه للتيار الكهربى ، حيث يمر التيار الكهربى من أحد الأقطاب إلى الخبث ثم المعدن ثم يعود إلى الشرارة ثم القطب الثانى وهكذا ، تتركز الحرارة على سطح المعدن . ويمتاز هذا النوع بتوليد كمية كبيرة من الحرارة .

النوع الآخر يوجد به قطبان من الجرافيت يوصلان إلى وجهين للتيار الكهربى ويوصل الوجه الثالث بقاع الفرن وبذلك يمر التيار خلال المعدن ، ويوضح شكل (5-6) مكونات هذا النوع والذى تصل سعته إلى حوالى 180 طن ، وتكون الكفاءة الحرارية لأفران القوس الكهربى حوالى 60%

عموما يمتاز انتاج الصلب فى الأفران الكهربائية بالمميزات الآتية :

أ- إمكانية انتاج جميع أنواع الصلب السبائكى .

ب- التحكم الكامل فى التركيب الكيميائى للمعدن.

جـ- تحكم سهل فى درجة الحرارة والحصول على درجات حرارة أعلى من $2000\ ^0C$

ء- كفاءة حرارية عالية .

هـ- قصر مدة الصهر .

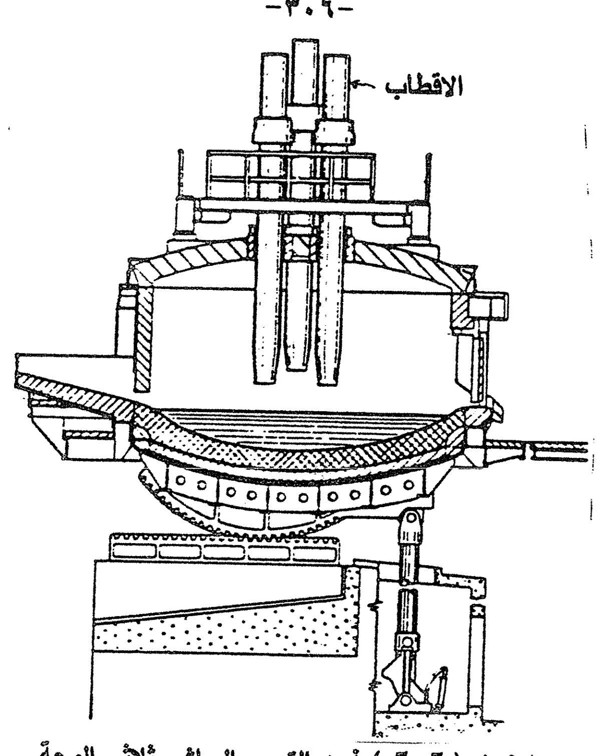
ويوضح شكل (5-7) خصائص أفران القوس الكهربى

أفران المقاوم (Resistor Furnaces)

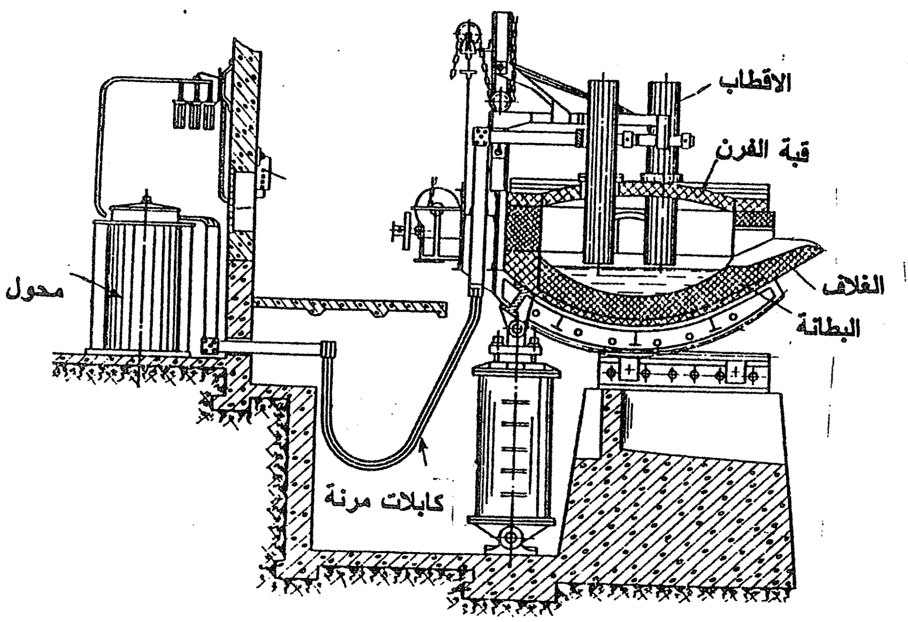
تعمل هذه الأفران لدرجة حرارة فى المدى من $1000\ ^0F$ إلى $2000\ ^0F$

يوضح شكل (5-8) غرفة حريق تحتوى على مقاومات على الجانب الداخلى للحائط وأسفل الغرفة بينما يوضح شكل (5-9) غرفة حريق تحتوى على مقاومات فى السقف وأسفل الغرفة ، ومن الشائع استخدام الطوب الحرارى كبطانة داخلية ، والذى يمتاز بخصائصه الحرارية والفيزيائية التى تقع بين الطوب الطفلى الحرارى (Fire - clay brick) والمواد العازلة الحرارية (heat - insulating materials) .

ومن خصائص الطوب الحرارى (Fire brick) أن له قيمة عزل حرارية عالية ووزن خفيف . ويكون العزل الخارجى من الطوب المشكل (brick form) أو مسحوق



شكل (5-5) فرن القوس المباشر ثلاثى الوجة



شكل (5-6) فرن القوس الكهربى

(ادارة طلب الطاقة -١)

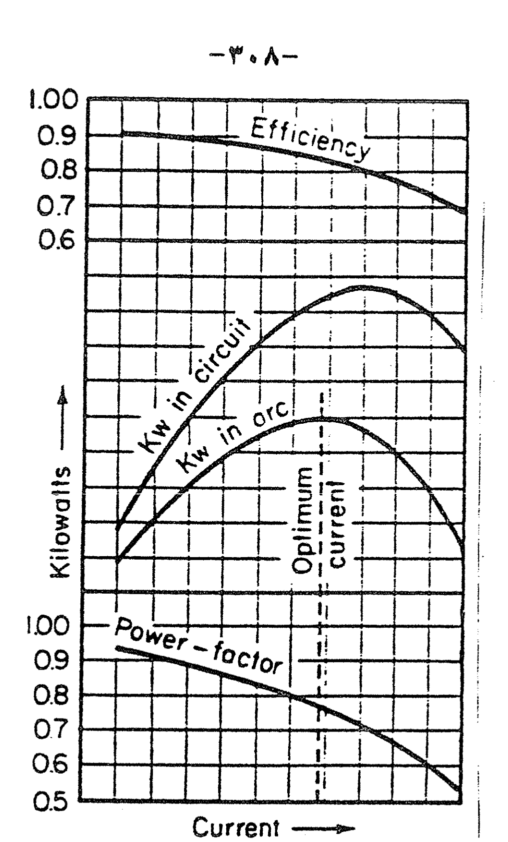
من العزل الحرارى (Heat insulation powder)
- من أنواع المقاومات المستخدمة المقاومة المصنوعة من سبيكة حديد - كروم - نيكل (Nickel - chromium - iron alloy)
تبعا لنوع الفرن وحجمه يتحدد جهد التشغيل : 110 , 220 , 440 , or 600 V
قدرة الفرن احادى الوجه من kw 25 إلى kw 30 وتستخدم الأفران ثلاثية الأوجه للقدرات الأعلى .

القمائن (Kilns)

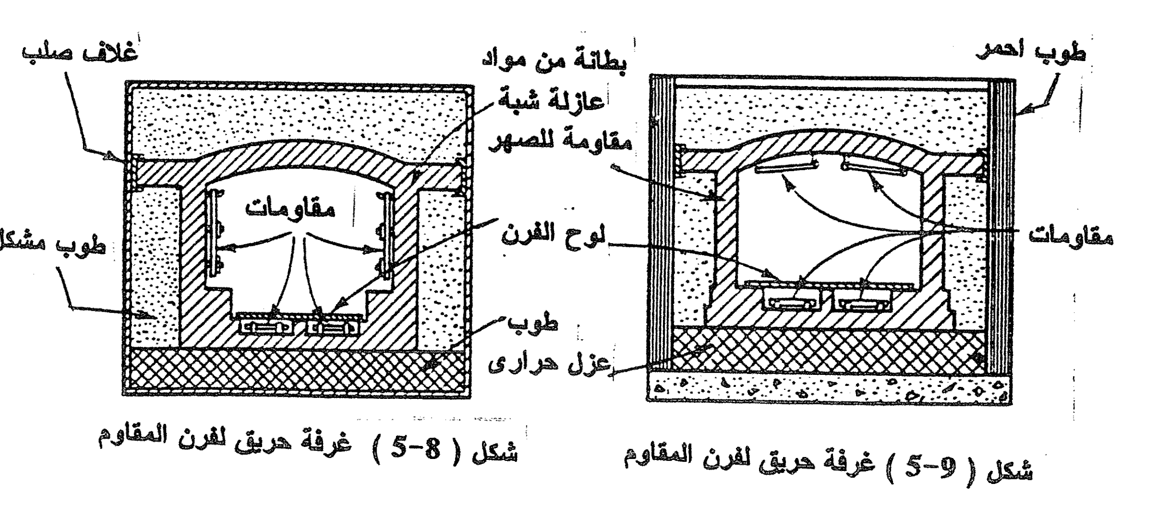
تعتبر القمائن معدات تسخين خاصة ، تستخدم بانتشار لأغراض كثيرة منها التخلص من الرطوبة فى منتج.ما ، أو حدوث تفاعل كيميائى ، أو تغيير فى التركييب البللورى .
يوضح شكل (5-10) قمين قائم رأسى (vertical shaft kiln) ، يستخدم للصهر المباشر ، حيث يسخن من أعلى ويفرغ من أسفل . يتراوح عمر القمين من 9 شهور إلىعدة سنوات اعتمادا على العمل المطلوب ، الصيانة .....
وتستخدم القمائن القائمة الرأسية لاستخلاص ثانى أكسيد الكربون من الحجر الجيرى للحصول على أكسيد الكالسيوم أو الجير (Lime) .
ومن أنواع القمائن الأخرى القمائن الدورانية (Rotary Kilns) والموضحة بشكل (5-11) ، ويمتاز بأنه يعطى معدل انتاج مرتفع . ويستخدم للحصول على الجير(Lime) ، أسمنت بورتلاندى (Portland cement) ،أكسيد الألومنيوم (alumina) ، أكسيد الماغنسيوم (magnesia) ، دولوميت (dolomite) ، أكسيد التيتانيوم (titanium oxide) . تصل درجة حرارة منطقة الأحتراق إلى $1600\ ^0C$

(5-2) عملية الأحتراق بالأفران

توجد طرق متعددة للحريق موضحة بشكل (5-12) هى :
- حريق من أسفل (Under Fired)
- حريق جانبى (Side Fired)
- حريق من أعلى (Over Fired)
- حريق مباشر (Direct Fired)

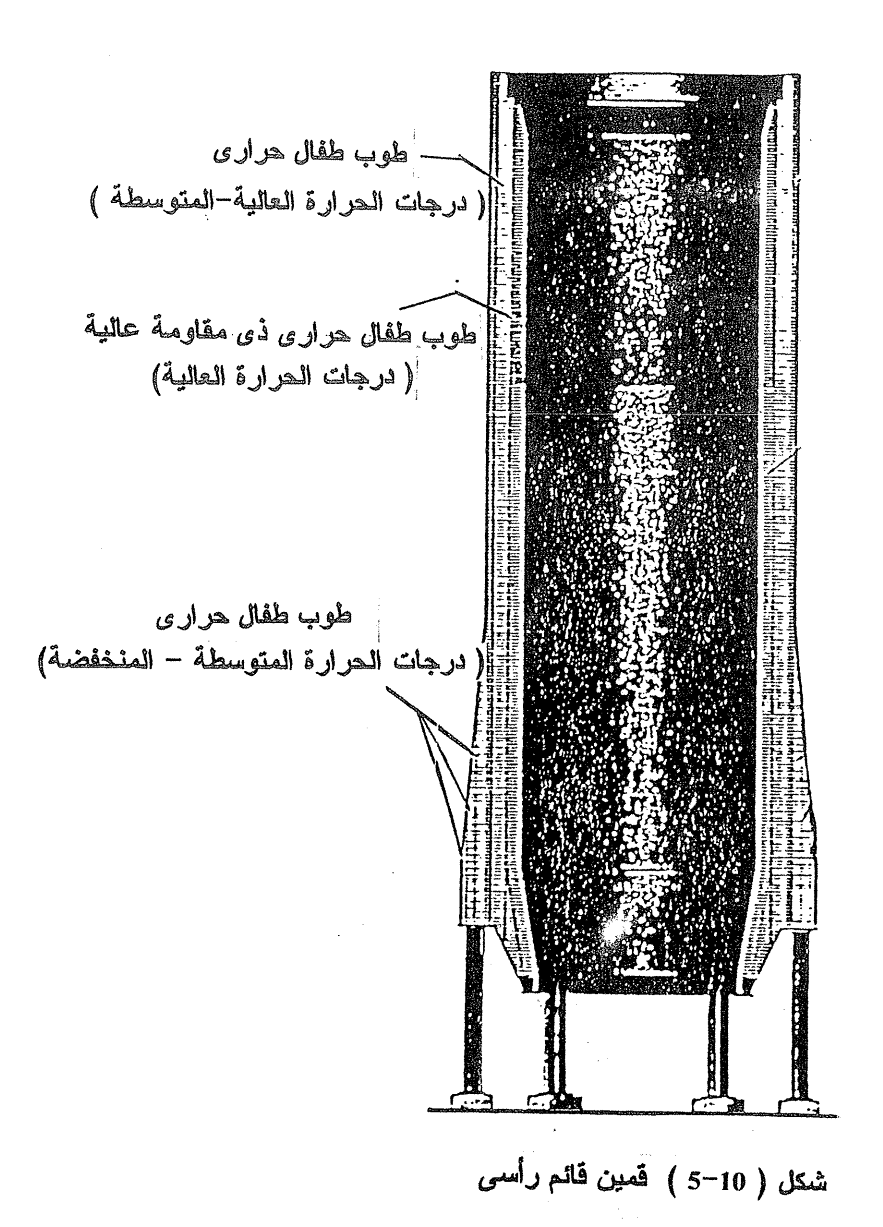


شكل (7-5) خصائص افران القوس الكهربى

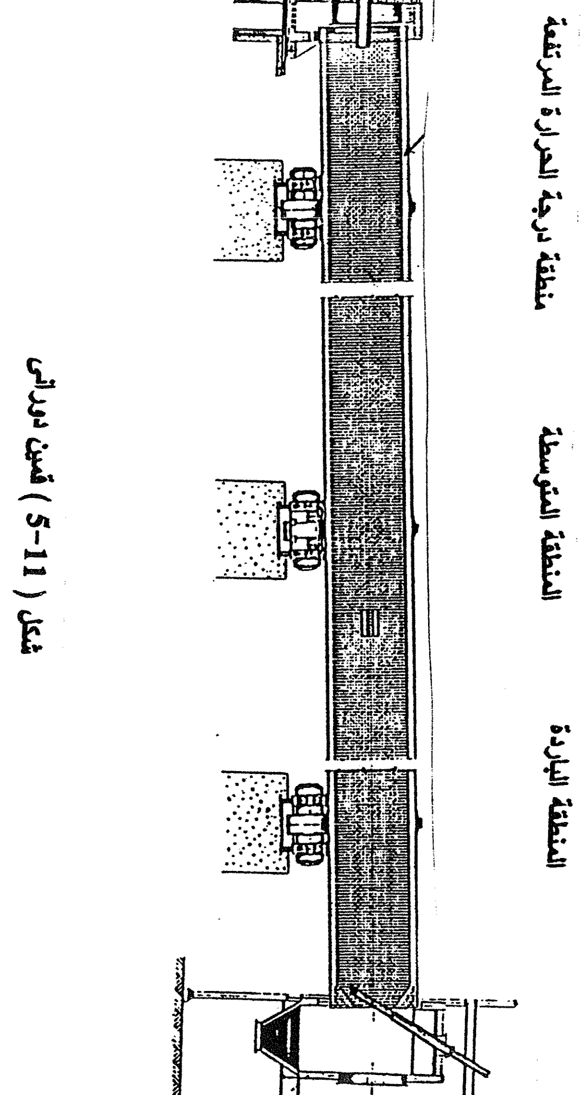


شكل (8-5) غرفة حريق لفرن المقاوم

شكل (9-5) غرفة حريق لفرن المقاوم



شكل (10-5) قمين قائم رأسى



شكل (11-5) قمين دوراني

عملية الأحتراق بالأفران هى نفسها بالغلايات والتى ذكرت بالتفصيل فى الباب الرابع كذلك أنواع الولاعات المستخدمة هى نفسها المستخدمة بالغلايات

(5-3) حساب كفاءة الأحتراق

تصنف مفقودات كفاءة الأحتراق إلى

- الحرارة الناتجة من الغازات الساخنة للعادم والتى لا تحتوى على بخار مياه (أى مفقودات غازات العادم الجافة) .
- الحرارة الناتجة من بخار المياه الساخنه للعادم ،المحتويه على كل من الحرارة الكامنة (Latent heat) والحرارة المحسوسة (sensible heat) .
- الوقود غير المحترق الناتج من الأحتراق غير الكامل ، والمحتوى على مواد صلبة قابلة للاحتراق ، رماد وأول أكسيد الكربون ، فى غازات العادم .

ينتج التحسن الأولى فى كفاءة الاحتراق بتقليل مفقودات الطاقة الحرارية المهدرة من غازات الاحتراق .

يمكن تعريف كفاءة الاحتراق بإحدى الطريقتين الآتيتين :

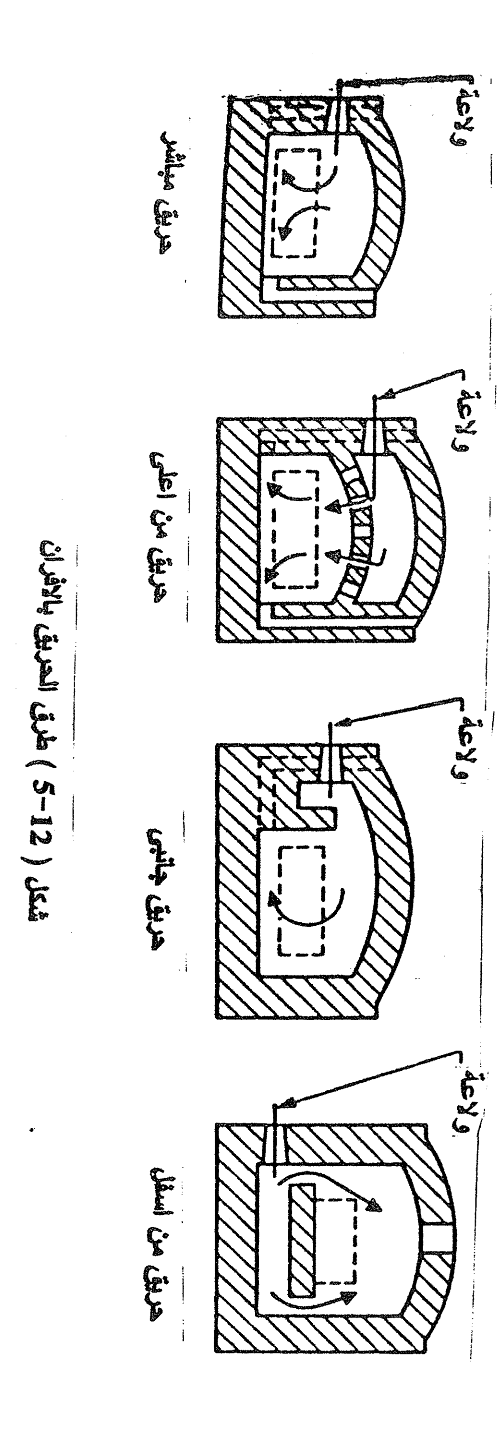
1- الطريقة المباشرة

$$\text{الكفاءة \%} = \frac{\text{الطاقة الكلية للوقود} - \text{الطاقة الكلية لغازات العادم}}{\text{الطاقة الكلية للوقود}} \times (100\ \%)$$

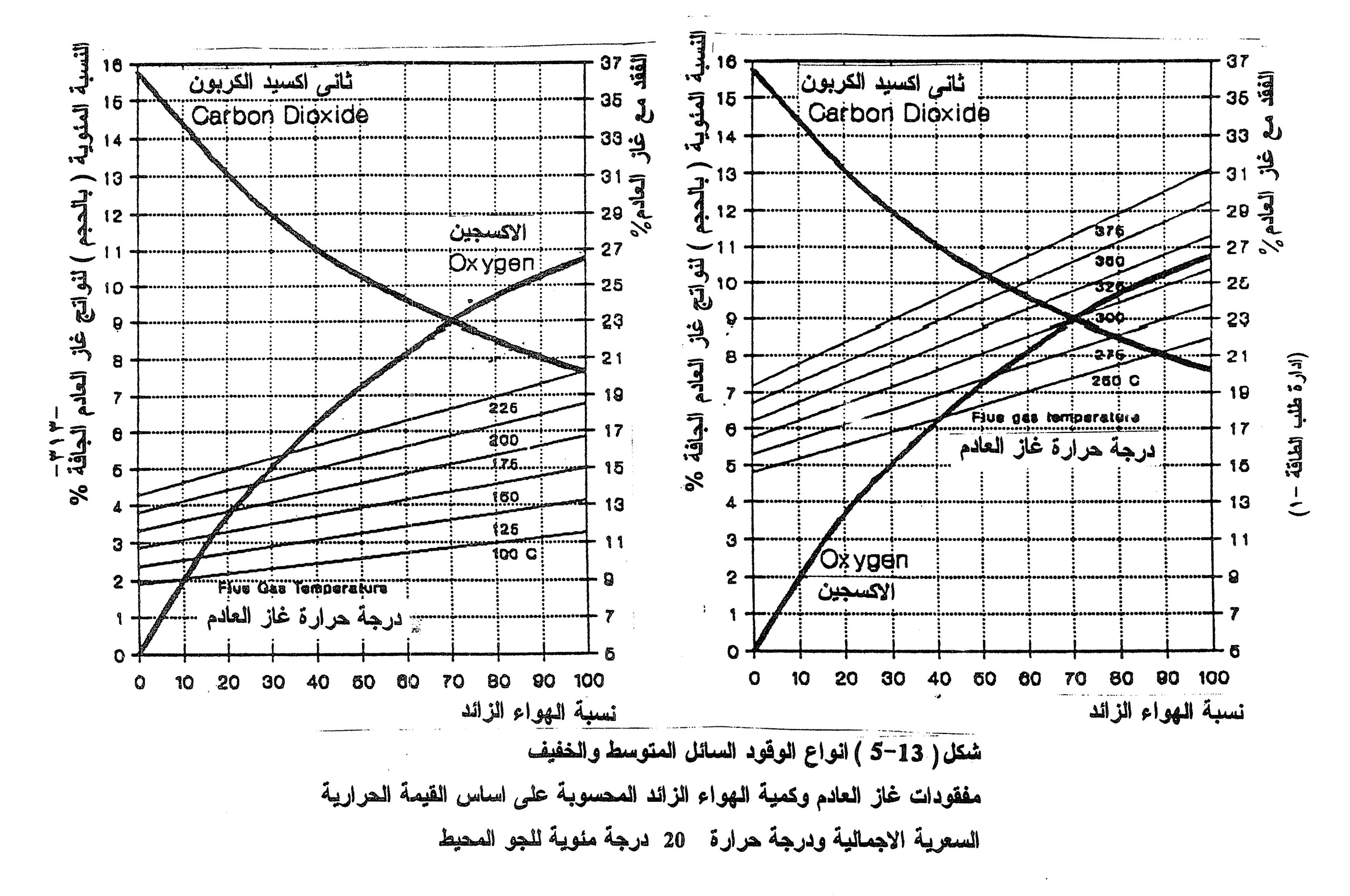
2- الطريقة غير المباشرة

الكفاءة % = (100 %) - (مجموع مفقودات الاحتراق %)

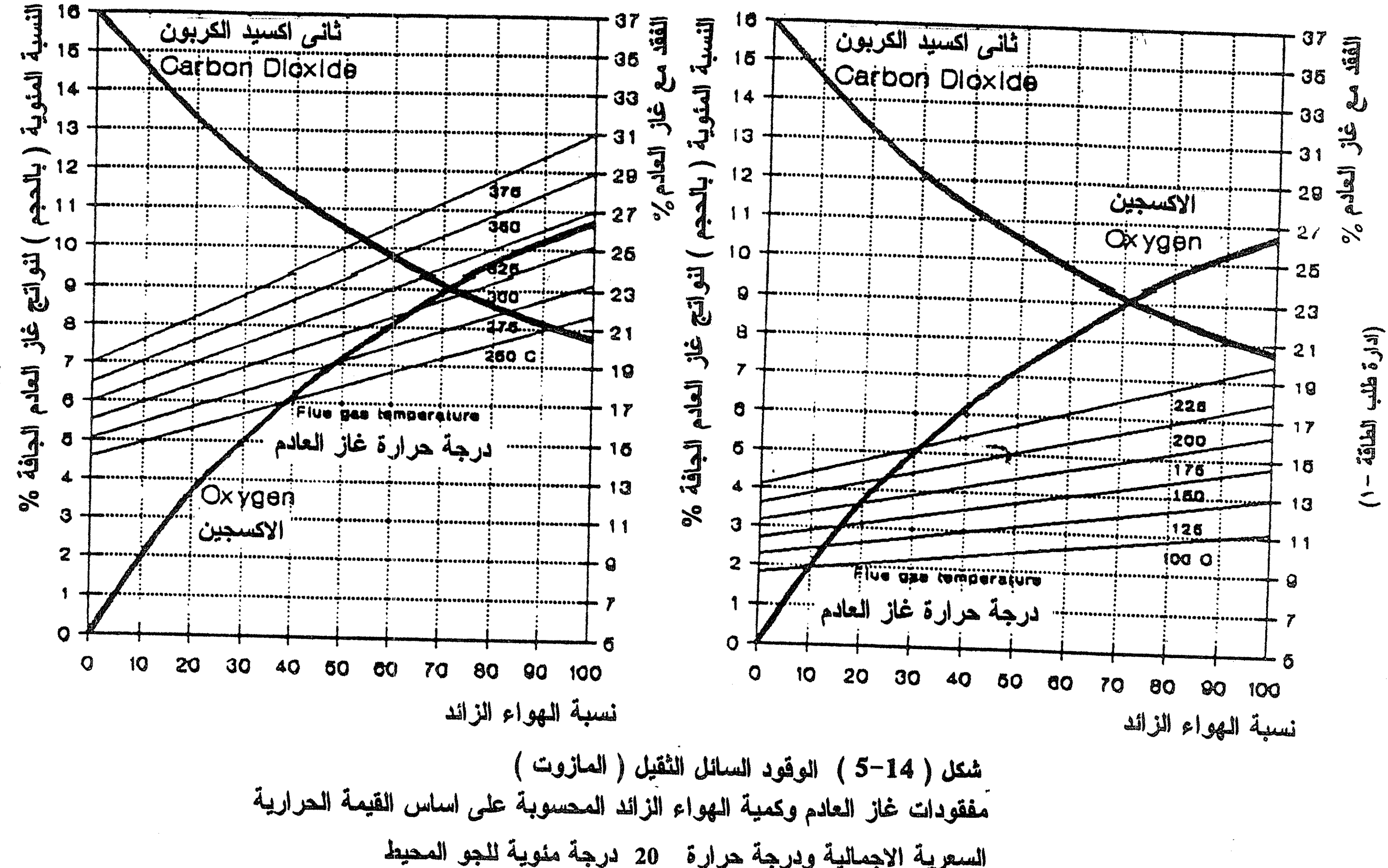
عادة يوصى باستخدام الطريقة غيرالمباشرة لأنها طريقة عملية وسهلة . وتستخدم المنحنيات الموضحة بالأشكال من (13-5) إلى (15-5) لحساب مفقودات غازات العادم ومحتوىالأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون.



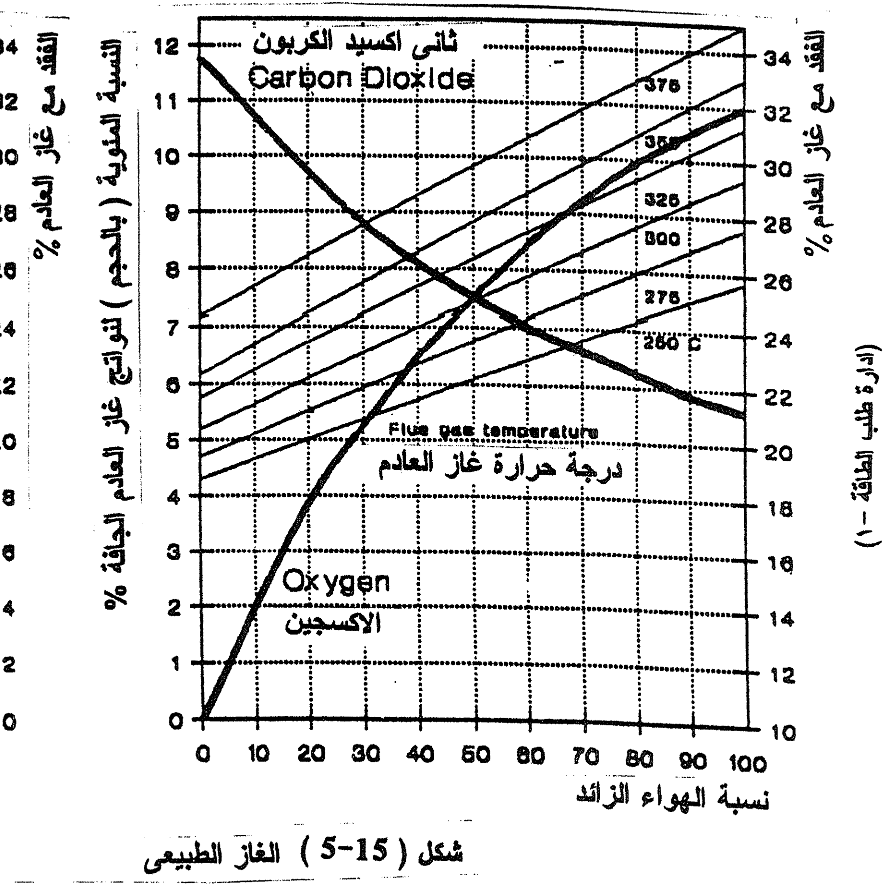
شكل (5-12) طرق الحريق بالأفران

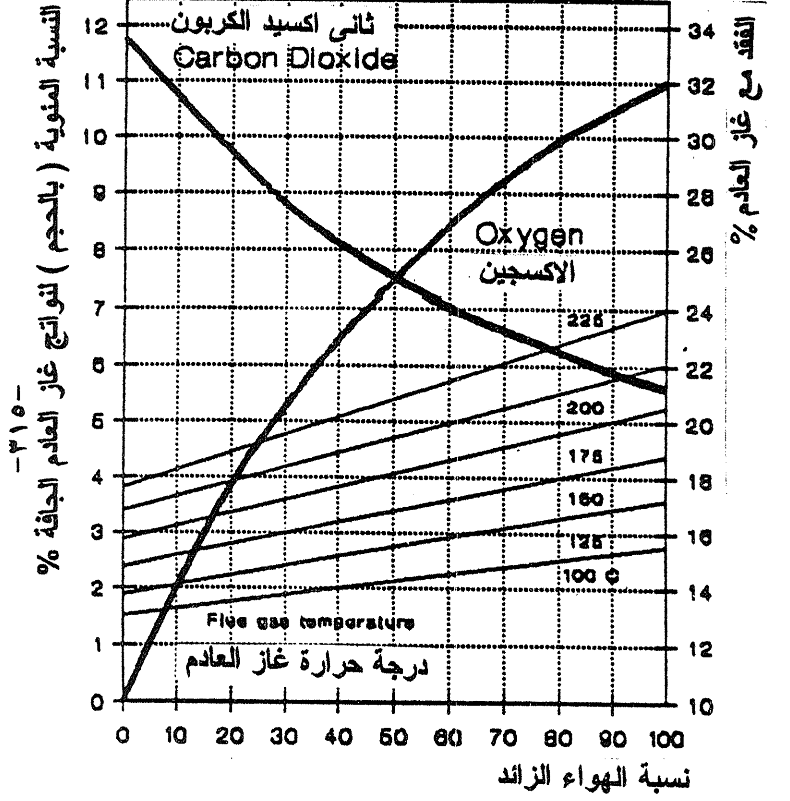


شكل (5-13) انواع الوقود السائل المتوسط والخفيف
مفقودات غاز العادم وكمية الهواء الزائد المحسوبة على اساس القيمة الحرارية السعرية الاجمالية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية للجو المحيط



شكل (5-14) الوقود السائل الثقيل (المازوت)
مفقودات غاز العادم وكمية الهواء الزائد المحسوبة على اساس القيمة الحرارية
السعرية الاجمالية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية للجو المحيط





شكل (5-15) الغاز الطبيعى

مفقودات غاز العادم وكمية الهواء الزائد المحسوبة على اساس القيمة الحرارية السعرية الاجمالية ودرجة حرارة 20 درجة مئوية للجو المحيط

لحساب مفقودات غازات العادم يجب مراعاة الآتى أولا :

أ- معرفة نوع الوقود المستخدم .

ب- نفرض أن كمية الحرارة الكلية المتاحة 100%

جـ- يجب أن تكون درجة الحرارة المحيطة ثابتة ($20\ ^0C$) ، وعند تغيرها يجب أن تصحح بعامل تصحيح .

ء- يجب أن تعرف درجة حرارة غازات العادم ، مثلا $200\ ^0C$

هـ- اذا كانت درجة حرارة المخرج $200\ ^0C$ ، احسب مفقودات الحرارة الكامنة والحرارة المحسوسة لكمية معرفة من نواتج الاحتراق، منسوبة إلىدرجة الحرارة المختارة .عبر عن هذه المفقودات كنسبة مئوية من محتوى الحرارة بـ 100 kg وقود .

و- كرر الحسابات لمعدل هواء زائد مختلف عند درجة حرارة غازات العادم $200\ ^0C$

س- كرر الحسابات عند درجات حرارة مختلفة لغازات العادم .

مثال

بيانات عملية الاحتراق لفرن كالأتى :

نوع وقود الاحتراق	:	المازوت (الوقود السائل الثقيل)
درجة حرارة غازات العادم	:	$285\ ^0C$
درجة الحرارة المحيطة	:	$30\ ^0C$
محتوى الاكسجين	:	4% (كجم ، جاف)
مفقودات الاشعاع والمفقودات الأخرى	:	6%

احسب كفاءة الاحتراق بالطريقة غير المباشرة

الحـــل

تستخدم المنحنيات الموضحة بشكل (5-14) والخاصة بالوقود السائل الثقيل والموضوعة على أساس القيمة الحرارية الاجمالية (gross calorific value) وأن درجة الحرارة المحيطة $20\ ^0C$

أ- تصحيح درجة حرارة غازات العادم (T_{fg}) عند درجة حرارة محيطة (T_a) أعلى من $20\ ^0C$

$$T_{fg\,(cor)} = T_{fg} - [T_a - 20]$$
$$= 385 - [30 - 20] = 270\ ^0C$$

ب- عند محتوى أكسجين 4% يرسم خط أفقى حتى يقابل منحنى الأكسجين .

جـ-عند نقطة التقاطع يرسم خط رأسى إلى أسفل فنحصل على نسبة الهواء الزائد % 22

ء- عند نفس نقطة التقاطع نرسم خط رأسى إلى أعلى حتى يقابل منحنى درجة حرارة غازات العادم $275\ ^0C$ ثم نرسم خطا أفقيا للحصول على فقد غازات العادم وهى % 17

هـ- نحسب كفاءة الاحتراق كالأتى :

كمية الحرارة الكلية المتاحة = % 100

أقل مفقودات فى غازات العادم = % 17

كفاءة الاحتراق = $\eta_{th} = 100 - 17 = 83\ \%$

الكفاءة الكلية = $\eta_{overall} = 100 - (17 + 6) = 77\ \%$

و- نحسب محتوى ثانى أكسيد الكربون لغازات العادم من نفس الشكل والتى تساوى 13 %

عموما تعتمد كفاءة الاحتراق على العوامل الآتية :

1- أن تكون درجة الحرارة عالية بالدرجة الكافية لاشعال الوقود .

2- اضطرابات كافية للتأكد من خلط جميع مكونات الوقود مع الأكسجين .

3- زمن كافى لاستكمال عملية الاحتراق .

(5-4) تحسين التشغيل والصيانة وأجهزة القياس والتحكم

1- دورة الفرن (Furnace Cycling)

يعتبر الفقد الحرارى والامتصاص من حوائط الفرن من العوامل الهامة التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. عادة تكون حوائط الأفران عبارة عن عدة طبقات من العزل أو من مادة مقاومة للصهر (refractory)

وخلال حالات الاستقرار - فانه يمكن حساب الفقد الحرارى الحادث بالتوصيل (conduction) بمعرفة الموصولية الحرارية (thermal conductivity) لطبقات العزل المختلفة ، واختلاف درجة الحرارة بين الطبقات أو خلال الاسطح ككل .

عمليا ، تتناوب فترات تشغيل الفرن مع فترات التعطل (idling periods) . خلال فترات التعطل فان الحرارة المخزنة فى الطبقات المقاومة للصهر المغلفة للفرن تتبدد تدريجيا .

يتم حساب الحرارة المفقودة بطريقة تقريبية ، مع فرض أن حالة الفصل الأولى للفرن تماثل حالة الاستقرار وأن الحرارة المخزنة فى الطبقات المقاومة للصهر تفقد نهائيا .

ويحسب الفقد الكلى للحرارة Q_o (total heat loss) خلال فترات ايقاف الفرن θ_o (Shut down period) من المعادلة الأتية :

$$Q_o = Q_s\left[1 - e^{-\frac{\theta_o}{\theta}}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots [5\text{-}1]$$

حيث :

Q_S = الحرارة المختزنة لكل وحدة مساحة للسطح

Q_o = الحرارة المفقودة فى حالة الاستقرار لكل وحدة مساحة

اذا كانت الفترة الكلية لتعطل الفرن أقل من $\frac{\theta}{3}$ ، فانه يمكن أن تأخذ الفقد الحرارى مثل حالة معدل البداية . واذا كانت θ_o أكبر من 2θ فان الفقد الكلى المختزن يفقد .

تكون الأفران التى تعمل بالدفعات (batch furnace) مفتوحة لنقل حمل واضافة آخر وعندئذ تفقد كمية كبيرة من الحرارة بالاشعاع والتهوية الباردة المحيطة . أساسا تفقد الحرارة المختزنة فى هيكل الفرن نفسه (الحوائط - السقف - الأرضية) ،

من المصادر الأخرى لمفقودات الطاقة خلال دورات عمل الفرن الحرارة المحسوسة (sensible heat) وهى تنتج من الأفران المحتوية على أى أحواض أو تثبيتات أو رباطات والتى تسخن أو تبرد كل دورة .

توجد وسائل متعددة لتقليل هذه المفقودات فى الطاقة مثل :

أ- حيث أن سريان الحرارة من خلال الأبواب المفتوحة يعتمدعلى الزمن ، فانه يمكن حفظ الطاقة بجعل زمن الأبواب المفتوحة أقل ما يمكن .

ب- تصمم تثبيتات الأحواض والرباطات ....عند أقل سعة حرارية (heat capacity) ، بمعنىآخر أن يكون التصميم عند أقل كتلة .

جـ- يجب أستخدام مواد عازلة لها سعة حرارية ، لكل وحدة حجم ، صغيره جدا ، ويعتبر الخزف الليفى (ceramic fiber) مثالا لهذه المواد .

2- ايقاف المعده العاطلة (Idle Equipment Shutdown)

عند ايقاف معدات التسخين بسبب برنامج الفصل أو ايقاف الانتاج ، فيمكن وفر الطاقة بالسماح للمعدات بالتبريد واعادة التسخين لاحقا .

اذا كان زمن الايقاف صغير ، فالأفضل أن تبرد المعدات لدرجة حرارة متوسطة ، أى ايقاف عند هذه الدرجة ، وإعادة التسخين لدرجة حرارة التشغيل عند إستئناف الانتاج . من الأفضل ، خلال دورات التبريد أن تغلق جميع أبواب ومنافذ الفرن . وهذا يقلل ارتشاح البرودة إلى الهواء الخارجى ويطيل عملية التبريد .

3- نظم التحكم فى الضغط ودرجة الحرارة

Temperature and Pressure Control Systems

يؤدى تحسين التحكم فى درجة حرارة الفرن أو القمين إلى تقليل هدر الطاقة وتحسين الانتاج . من أبسط طرق التحكم فى درجة الحرارة ، اضافة مزدوج حرارى (thermocouple) بحائط الفرن أو القمين ،متصل بجهاز بيان يوضح قراءة قريبة من درجة حرارة حائط الفرن . يحتوى هذا الجهاز على على نقط تلامس قابلة للضبط تكون مسئولة عن توصيل الكهرباء إلى دائرة الصمام المفتوح وذلك عند انخفاض درجة حرارة القمين إلى نقطة التحكم . تفتح نقط التلامس ويغلق الصمام عندما تصل إلى درجة حرارة التحكم .

للتغلب على ارتشاح الهواء خارج الفرن ، أو تسرب غازات الاحتراق خلال حوائط الفرن ، تجهز الأفران الكبيرة بنظام تحكم آلى للضغط ، اذا تم تفريغ غازات العادم

خلال ماسورة اعتمادا على الجاذبية فيمكن التحكم فى السريان بإضافة منظم خانق (damper) فى ماسورة العادم . يمكن تشغيل المنظم من خلال اشارة تحكم للضغط .

4- ادارة أحمال طلب الطاقة للأفران الكهربائية

Demand - Side Load Management for Electric Furnaces

يمكن بإدارة أحمال طلب الطاقة للأفران الكهربائية أن يقل أقصى طلب (peak demand) وأيضا الاستهلاكات .

احد طرق ادارة الأحمال تستلزم تركيب نظام تحكم لتسجيل أقصى طلب والتغيرات الحادثة فى الحمل .

مثلا ، مصنع لانتاج الصلب يحتوى على أفران القوس الكهربى التى تستخدم الخردة ، القدرة التعاقدية 47 MW ، المطلوب نظام تحكم لعدم تعدى القدرة المستهلكة عن القدرة التعاقدية .

يركب جهاز تحكم (controller) تكون مسئولياته كالآتى :

1- تسجيل ومراقبة أقصى طلب للقدرة الكهربائية .

2- التحكم فى نقط تقسيم (Taps) المحول (عدد 5 خطوات) لعدد 2 فرن القوس الكهربى

3- ارتفاع أقطاب الفرنين وصدور صوت انذار فى حالة ضياع إشارة نبضة (pulse signal) عدادات الطاقة .

4- ألا يتعرض لمرحلتى الإنصهار (meltdown) والتنقية (refine) .

وللتغلب على أقصى طلب للقدرة الكهربائية ، فان كل ساعة تشغيل تقسم إلى ثلاثة أجزاء كل منها 20 دقيقة

يتم اتباع الآتى خلال كل جزء تشغيل :

1- الفترة من صفر إلى 20 دقيقة

تظل الأحمال المفصولة قبل هذه الفترة كما هى ، ولا تفصل أية أحمال أخرى أو تقلل خلال هذه الفترة .

2- الفترة من 20 إلى 40 دقيقة

اذا كشف جهاز التحكم أن قيمة أقصى قدرة يمكن أن تتعدى قيمة الضبط ، فيتم تغيير

خطـوة محول (أو محولى) تنظيم الفرن وذلك لتقليل القدرة .

3- الفترة من 40 إلى 60 دقيقة

ترتفع أقطاب الفرن أو الفرنين لطرح الحمل (shed load) اذا توقع جهاز التحكم أن قيمة ضبط (set point) القدرة ما زالت أكبر .

يستخدم حاسب قدرة استراتيجية (Last on / First off) وذلك للتغلب علـى فصل الحمل أثناء دورة التنقية .

يكون تتابع استراتيجية تقليل القدرة (power reduction) كالآتى :

1- قلل الأحمال ، ماعدا خلال دورة التنقية ، إلى أقل خطوة للمحول .

2- اطرح الأحمال (shedding) ، ماعدا خلال دورة التنقية .

3- قلل الأحمال خلال دورة التنقية ، بالتغير إلى أقصى خطوة للمحول .

4- قلل الأحمال خلال دورة التنقية ، إلى أقل خطوة للمحول .

5- اطرح الأحمال خلال دورة التنقية .

بينما تكون استراتيجية زيادة القدرة (power increase) كالآتى :

1- تعاد الأحمال خلال دورة التنقيـة ، ويكـون وضع الخطوة مماثل للحالـة عند حدوث طرح الأحمال .

2- تزود الأحمال خلال دورة التنقية ، إلى أقصى خطوة للمحول .

3- تعاد الأحمال ، فى غير دورة التنقية ، وضع الخطوة مماثل للحالـة عند حدوث طرح الأحمال .

4- زيادة الأحمال ، فى غير دورة التنقية ، إلى أقصى خطوة للمحول .

إستخدام جهاز التحكم فى القدرة (Demand controller) لهذا المصنع أدى إلى :

أ- ارتفاع عامل الحمل (Load factor) من 75 % إلى 92 %

ب- انخفاض زمن التسخين

جـ- انخفاض زمن أقصى طلب إلى 50 %

وتكون فترة الاسترداد (payback) أقل من سنة واحدة

5- المفقودات من فتحات غلاف الفرن

Losses through openings in the furnace shell

للفتحات الكبيرة فىالأفران والقمائن ، يمكن حساب المفقودات الحرارية الناتجة من الاشعاع بتقييم اشعاع جسم أسود عند درجة حرارة الفرن ودرجة الحرارة المحيطة ، وضرب الفرق فى ابتعاثية ε (emissivity) مادة غلاف الفرن .إن لم تكن ε معلومة فيمكن فرضها 0.8 لطوب مبانى الفرن . للفتحات الصغيرة تتوقف بعض الحرارة عند حواف الفتحات .

يوضح شكل (16-5) قيم مفقودات الطاقة بالاشعاع (radiation energy losses) الحادثة خلال الفتحات وبدلالة درجة حرارة الفرن .

يستخدم عامل الاشعاع (radiation factor) تبعا لشكل الفتحات (دائرية – مربعة – مستطيلة – مشقوقة)

ويوضح جدول (1-5) قيم عوامل الاشعاع .

6- تحسين مواد العزل والمواد المقاومة للصهر

Improved Insulation and Refractories

يؤدى العزل السيىء أو الغير كافى للأفران إلى إهدار كبير فى الطاقة .

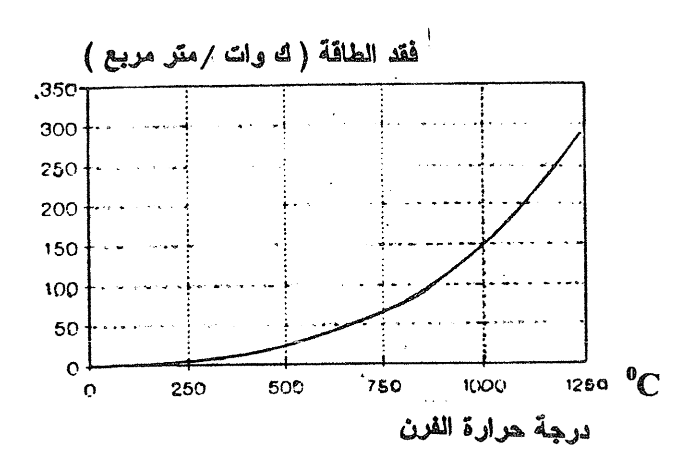
ويمكن حساب هذا الفقد بمعرفة درجة حرارة حوائط أو سقف الفرن وبإستخدام المنحنى بشكل (17-5) .

تحتاج الأفران والقمائن لصيانة وإعادة بناء دوريا . عموما فى حالات التشغيل العادية ، تتعرض المواد العازلة والمواد المقاومة للصهر للتآكل الشديد نتيجة التغير الدورى لدرجة الحرارة بالاضافة إلى عوامل أخرى . لذا يجب عند الفصل الدورى للصيانة أن يتم الكشف على المواد العازلة والمواد المقاومة للصهر ومعالجة أو تغيير ما يلزم .

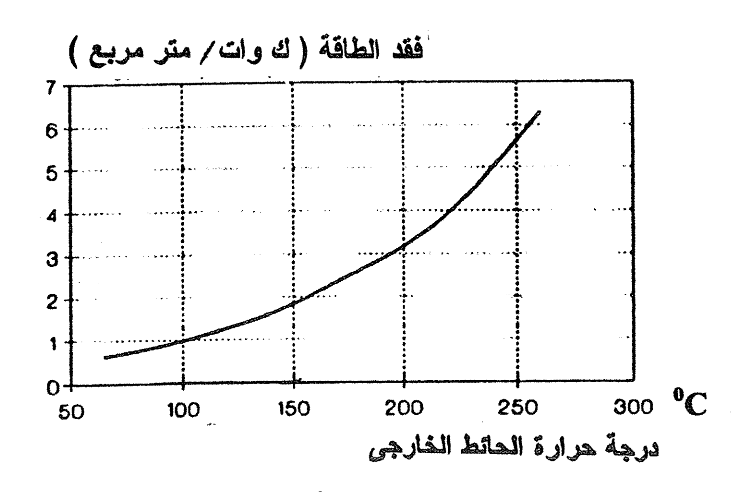
(5-5) كفاءة الأفران Furnace efficiency

تتلخص المفقودات بالأفران فى الآتى :

1- الفقد من الحائط فى حالة التشغيل المستقر



شكل (5-16) قيم مفقودات الطاقة بالاشعاع خلال فتحات الفرن



شكل (5-17) فقد الطاقة خلال حوائط الفرن

جدول (5-1) عوامل الاشعاع لأنواع الفتحات المختلفة

شق طولى Long slot	مستطيل Rectangle	مربع Square	دائرى Round	النسبة بين القطر (أو أقل عرض) إلى سمك الحائط
نوع الفتحة				
0.16	0.12	0.1	0.1	0.1
0.56	0.45	0.37	0.36	0.5
0.68	0.6	0.54	0.52	1
0.8	0.75	0.69	0.67	2
0.86	0.81	0.78	0.76	3
0.89	0.85	0.82	0.8	4
0.92	0.9	0.88	0.86	5

2- الفقد من الحائط فى حالة التشغيل المتناوب
3- الفقد الحرارى بالاشعاع خلال فتحات الفرن
4- الفقد الحرارى من الغازات المتسربة من الأبواب
5- الفقد الحرارى نتيجة جزء من القائم البارز خارج الفرن
6- الفقد الناتج من التوصيل الحرارى خلال الأقطاب أو الأطراف
7- المفقودات من أجهزة الشحن والنقل
8- مفقودات الاحتراق

وتعرف الكفاءة تبعا للمعادلة الآتية :

$$\eta = \frac{Q_{in} - \sum Q_{loss}}{Q_{in}} \times 100 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots [5\text{-}2]$$

وفيما يلى تعريف لأنواع الفقد :

1- الفقد من الحائط فى حالة التشغيل المستقر

Wall loss during steady - state operation

خلال حالات التشغيل المستقر للأفران يكون سريان الحرارة فى حوائط الفرن بدلالة فـرق درجـة الحرارة بين السطح الداخلى والخارجى للحائط .

ويمكن التعبير عن سريان الحرارة تبعا للمعادلة الأتية :

$$Q = \frac{C \cdot (T_i - T_O)}{S}$$
$$= K \cdot (T_O - T_a) \ldots\ldots\ldots [5-3]$$

حيث :

Q = الفقد الحرارى خلال بطانة الفرن (الحائط) $(watt / m^2)$

T_O = درجة حرارة السطح الخارجى لحائط الفرن (^0C)

T_i = درجة حرارة السطح الداخلى لحائط الفرن (^0C)

T_a = درجة الحرارة المحيطة (^0C)

S = سمك الحائط (البطانة) (m)

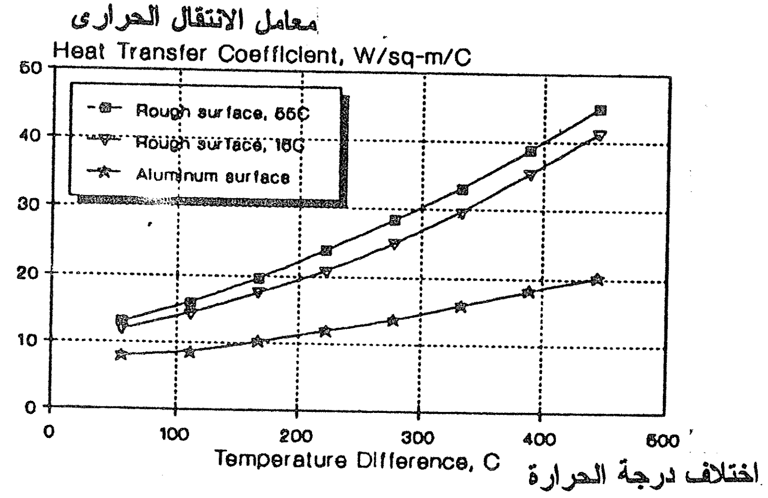
C = موصلية مادة البطانة ($watt / m . ^0C$)

K = معامل انتقال الحرارة الكلى عند السطح الخارجى للبطانة ($watt / m^2 . ^0C$)

يوضح شكل (5-18) العلاقة بين K وإختلاف درجة الحرارة، لأسطح الصلب والطوب ويوضح شكل (5-19) العلاقة بين الفقد الحرارى لكل وحدة مساحة ودرجة حرارة السطح ، عند درجة حرارة محيطية $38\ ^0C$ ، وذلك للأسطح الرأسية الخشنة المدهونة أو غير المدهونة بالالومنيوم .

تزيد الموصلية الحرارية C (thermal conductivity) للمواد المقاومة للصهر مع زيادة درجة الحرارة الحرارة ولكن ليست بنفس الزيادة السريعة لمعامل انتقال الحرارة الكلى (K). فمثلا الموصلية الحرارية لبعض عينات من طوب السليكا (silica brick) والطوب الحرارى (fire brick) تزيد بمعامل 1.75 عند ارتفاع درجة حرارة البطانة من $90\ ^0C$ إلى $1200\ ^0C$

يوضح شكل (5-20) بطانة فرن تتكون من طبقةمن الطوب المقاوم للصهر بسمك S_1 وموصلية حرارية C_1 . هذه الطبقة مغطاه بمادة عازلة بسمك S_2 وموصولية حرارية C_2



شكل (5-18) العلاقة بين معامل الانتقال الحرارى واختلاف درجة الحرارة

نحصل على سريان الحرارة فى حالة الاستقرار من المعادلة :

$$Q = \frac{C_1}{S_1}(T_i - T_b) = \frac{C_2}{S_2}(T_b - T_o) = K(T_o - T_a) \cdots\cdots\cdots [5-4]$$

تحل هذه المعادلة بإضافة المعادلات الثلاثة لعناصر الإنتقال الحرارى :

$$\frac{QS_1}{C_1} = (T_i - T_b)$$

$$\frac{QS_2}{C_2} = (T_b - T_o)$$

$$\frac{Q}{K} = (T_o - T_a)$$

$$\therefore Q = (T_i - T_a) / \left\{ \frac{S_1}{C_1} + \frac{S_2}{C_2} + \frac{1}{K} \right\} \cdots\cdots\cdots [5\text{-}5]$$

يوضح شكل (5-21) العلاقة بين درجة حرارة وجهى بطانة الفرن ، بمعرفة سمك طبقات العزل ودرجة حرارة السطح الداخلى Ti يمكن الحصول على درجة حرارة السطح الداخلى للبطانة T_o

ويوضح شكل (5-22) المفقودات الحرارية خلال بطانة الفرن ، بمعرفة سمك طبقات العزل ودرجة حرارة السطح الداخلى Ti يمكن الحصول على المفقودات الحرارية Q

ويوضح شكل (5-23) المفقودات الحرارية لحوائط الفرن المصنعة من الطوب الحرارى الخفيف .

مثـــال

بطانة فرن تتكون من طبقة من الطوب الحرارى بسمك 62.5 mm وعزل من الطوب المقاوم للصهر بسمك 225 mm درجات الحرارة كالآتى :

$T_i = 980\ ^0C$ $T_a = 16\ ^0C$

احسب كمية الحرارة المنقولة خلال ساعة واحـــدة .

الحــل

عند $S_1/S_2 = 225\ mm / 63\ mm$ & $T_i = 980\ ^0C$

فمن شكل (5-21) نحصل على درجة حرارة السطح الخارجى للبطانة $T_O \cong 120\ ^0C$

ومن شكل (5-22) نحصل على كمية الفقد الحرارى خلال ساعة واحدة

$Q \cong 5.5 \times 10^3\ KJ / m^2 .hr$

حــل أخـر :

بفرض أن $T_b = 710\ ^0C$

وبمعرفـة متوسـط الموصليـة الحراريـة للطوب الحرارى عند درجات الحرارة بيـن $980\ ^0C - 710\ ^0C$ (متوسط $485\ ^0C$) وهى $4672\ kJ/m^2.hr\ ^0C$ لكل 1mm سمك

وعند $T_O \cong 120\ ^0C$ فان متوسط الموصلية لطوب العزل يكون :

$571\ KJ/m^2 . hr . ^0C$ لكل 1mm سمك .

ومن شكل (5-18) وعند $T_o - Ta \cong 120 - 16 \cong 114\ ^0C$ نحصل على عامل الانتقال الحرارى الكلى يساوى $14.75\ w/m^2 . ^0C$ وبتحويلها إلى نفس الوحدات تصبح $53.1\ KJ / m^2.hr.\ ^0C$

للحصول على كمية الحرارة المنقولة خلال ساعة نعوض فى المعادلة (5-5)

$T_i - T_a = 980 - 16 = 964\ ^0C$

$S_1 = 225\ mm$ $C_1 = 4672\ KJ / m^2.hr.\ ^0C$

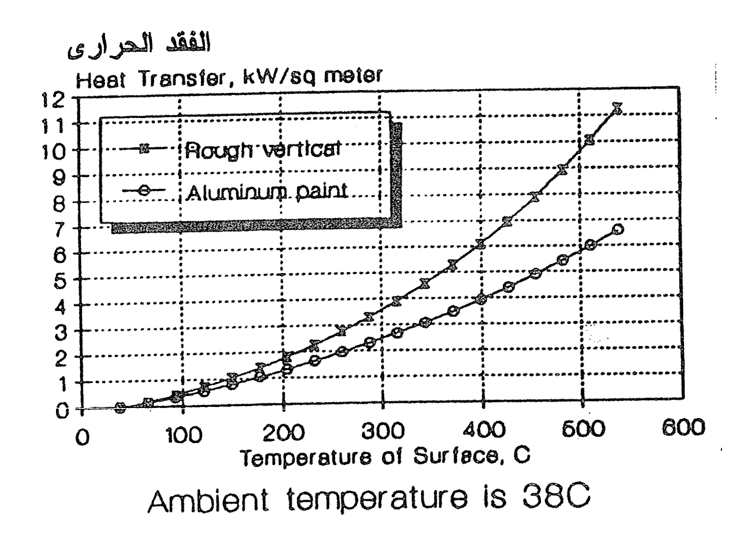
$S_2 = 62.5\ mm$ $C_2 = 571\ KJ / m^2.hr.\ ^0C$

$K = 53.1\ KJ / m^2.hr.\ ^0C$

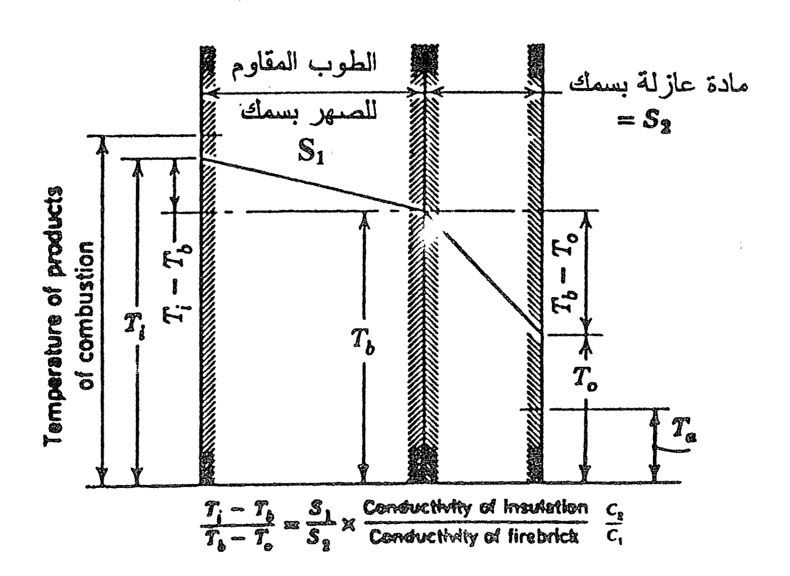
$$Q = (T_i - T_a) / \left\{ \frac{S_1}{C_1} + \frac{S_2}{C_2} + \frac{1}{K} \right\}$$

$$= 964 / \left\{ \frac{225}{4672} + \frac{62.5}{571} + \frac{1}{53.1} \right\}$$

$$= 5463\ KJ / m^2.hr$$

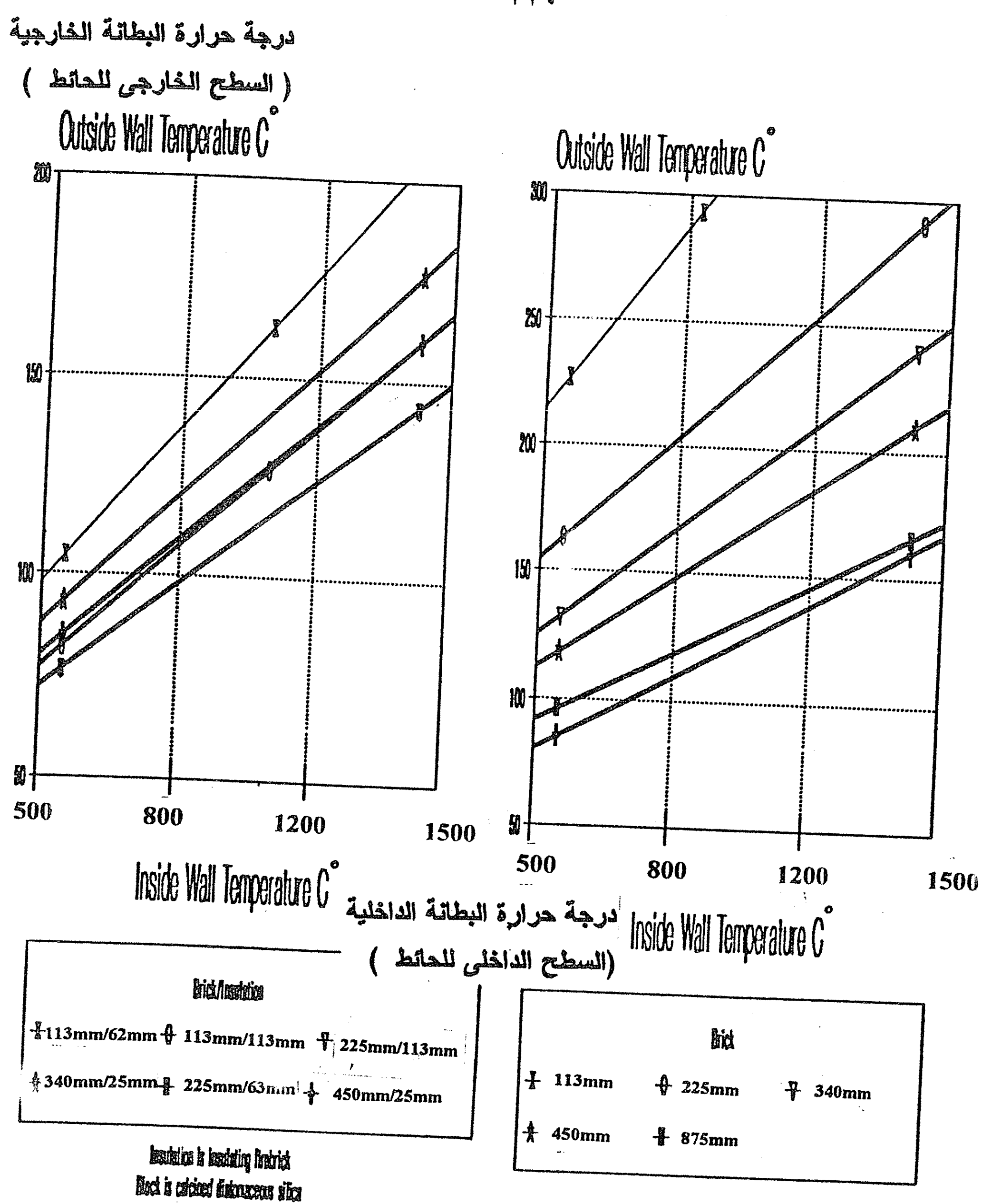


شكل (5-19) العلاقة بين الفقد الحرارى ودرجة حرارة الاسطح الرأسية الخشنة المدهونة او غير المدهونة بالالومنيوم

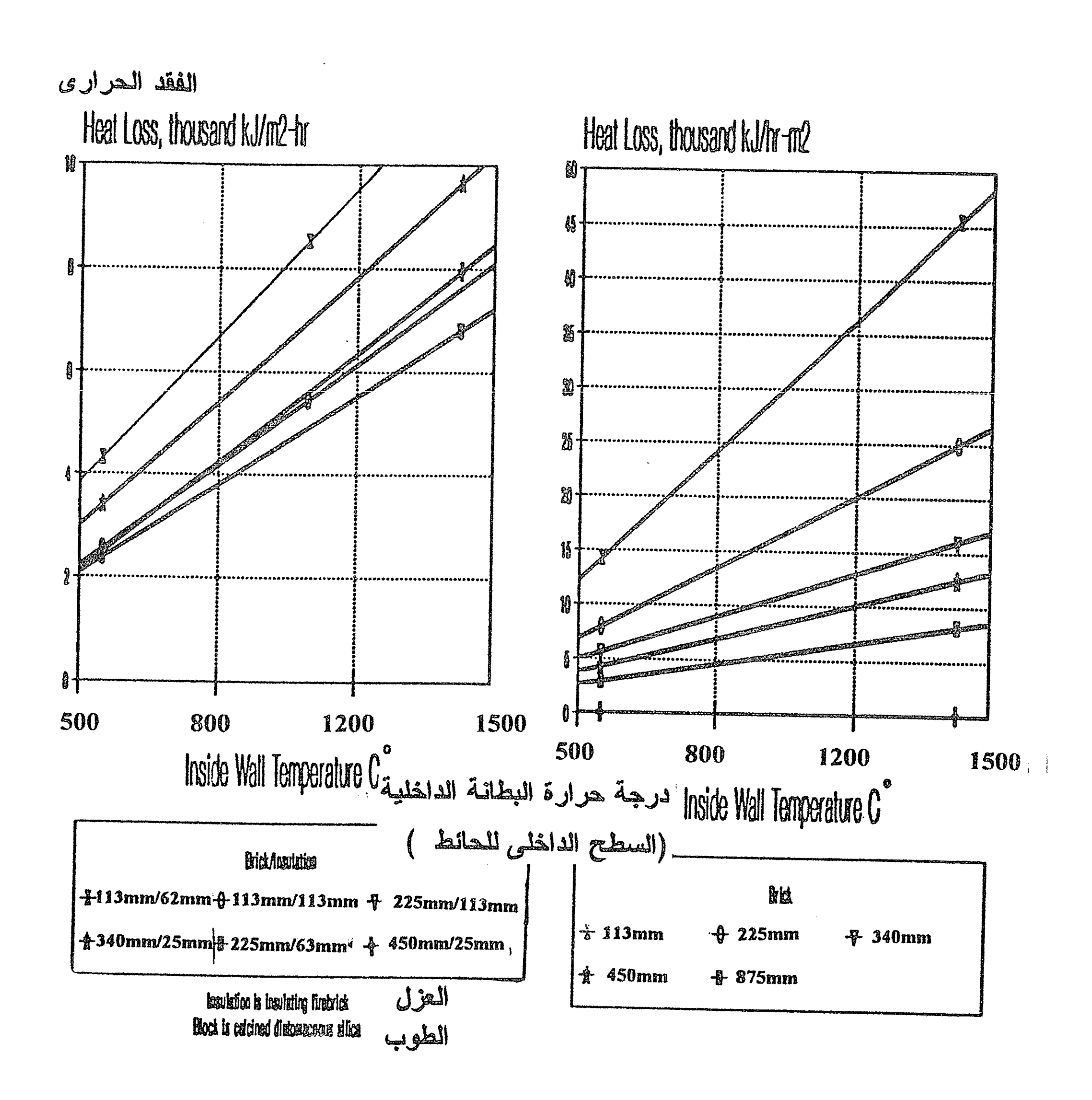


$$\frac{T_i - T_b}{T_b - T_o} = \frac{S_1}{S_2} \times \frac{\text{Conductivity of insulation}}{\text{Conductivity of firebrick}} \quad \frac{C_2}{C_1}$$

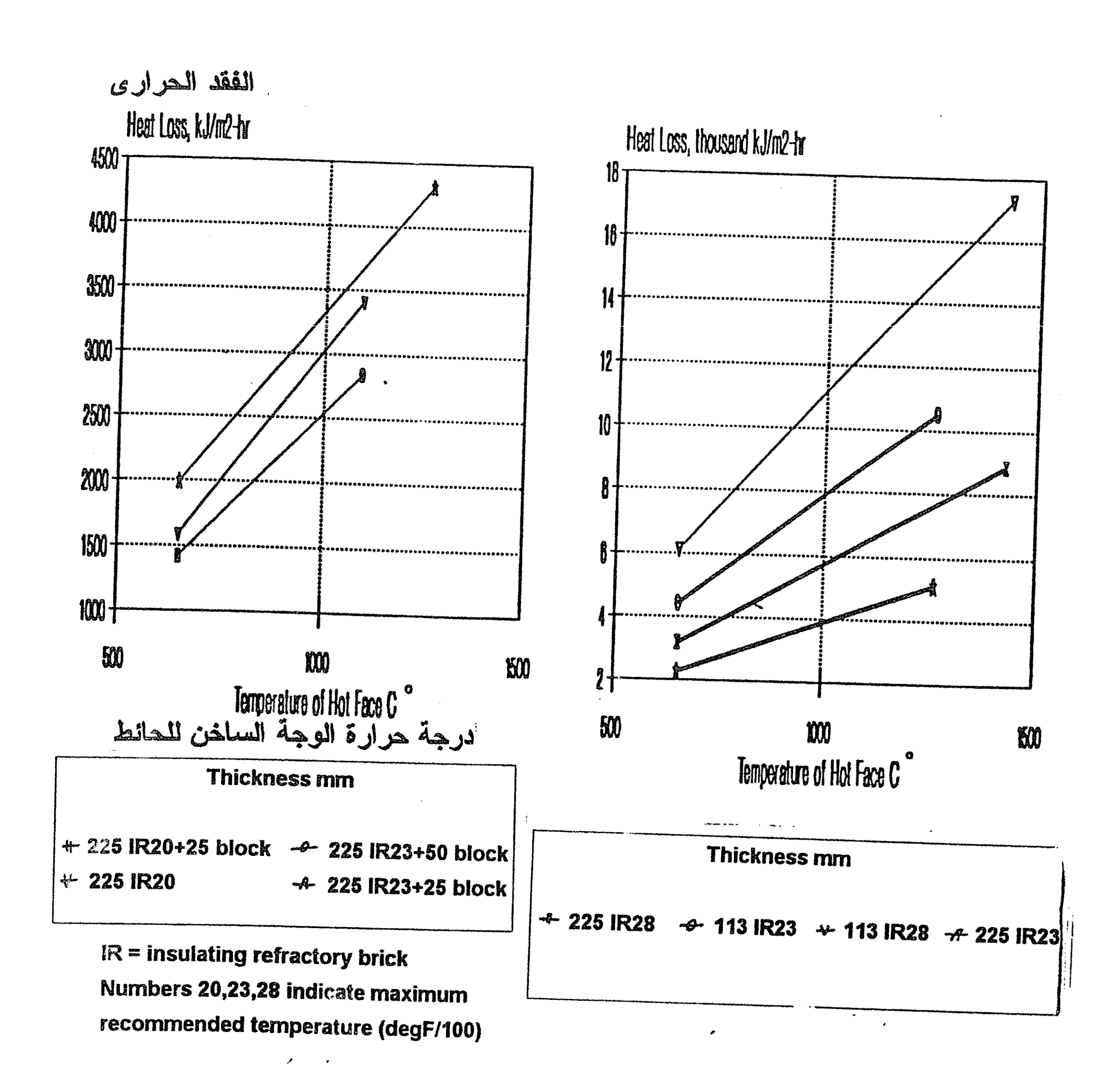
شكل (5-20) بطانة فرن



شكل (5-21) العلاقة بين درجة حرارة وجهى بطانات الفرن



شكل (22-5) المفقودات الحرارية خلال بطانة الفرن



شكل (23-5) المفقودات الحرارية لحوائط الفرن المصنعة من الطوب الحرارى الخفيف

الباب السادس

نظام تكييف الهواء

Air - conditioning systems

يختص تكييف الهواء بتهيئة الهواء الملائم فى مساحة أو منطقة أو حيز محدد ، وعادة يتضمن ذلك التحكم فى كل من : درجة حرارة ورطوبة الحيز وحركة الهواء ، ويكون ذلك مصحوبا بترشيح وتنظيف الهواء .

ويستخدم تكييف الهواء لتهيئة وسط مريح فى المنازل والمبانى السكنية ، كذلك يستخدم لعملية معالجة الهواء فى وحدة مصممة لتحقق اشتراطات صناعية معينة مثل الصناعات الغذائية والكيميائية والبترولية ..

يصنف نظام تكييف الهواء إلى نظام موضعى (Local) أونظام موزع (Distributed) .

يكون النظام الموزع أحد هذه الأنواع :-

- ذو الضغط العالى (high pressure) [والذى يسمى أيضا السرعات العالية (high velocities)]
- ذو الضغط المنخفض (low pressure) [والذى يسمى أيضا السرعات المنخفضة (low velocities)]
- خليط بين الضغط العالى والمنخفض .

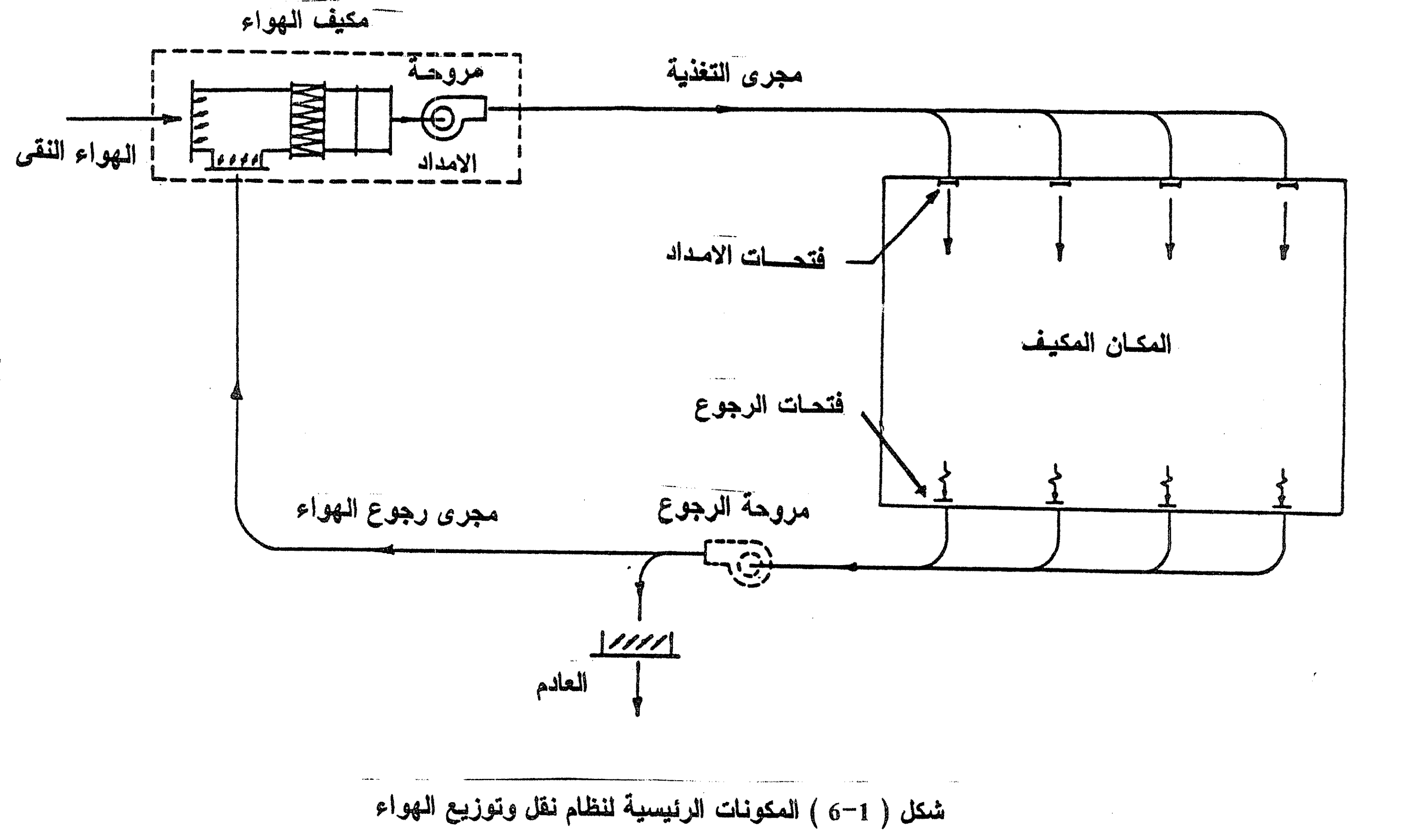
يتكون النظام المتكامل لنقل وتوزيع الهواء ، كما فى شكل (1-6) من :-

- مكيف الهواء (Air conditioner) .
- مجرى التغذية (supply duct) .
- مجرى رجوع الهواء (return duct) .
- فتحات (outlet) .

وفيما يلى توضيح مبسط لكل جزء :

أولا : مكيف الهواء (Air conditioner)

توجد أنواع متعددة من مكيف الهواء منها :



شكل (1-6) المكونات الرئيسية لنظام نقل وتوزيع الهواء

(ادارة طلب الطاقة -١)

- محطة تكييف هواء مركزية فى نظام الهواء (central station)
- وحدة مناولة هواء فى نظام المياه (Air-handling uint)
- وحدة تكييف هواء مجمعة فى نظام الوحدات (Unitary system)

وفيما يلى توضيح لبعض أنواع مكيف الهواء

(1-1) نظام محطة مركزية Central station system

هى مجموعة تكييف هواء ، كما فى شكل (6-2) ، يجمع فيها كافة المعدات اللازمة لتداول هواء التكييف وتنقيته وتسخينه وتبريده وترطيبه وإزالة رطوبته وغسله ، فى حيز يضمها جميعا ، ويوزع الهواء خلال مجرى واحد إلى المكان المراد تكييفه ويستعمل على نطاق واسع وشائع لتكييف هواء المنشآت والمصانع والمسارح وقاعات الاجتماعات .....

(2-1) وحدة مناولة هواء أفقية Typical horizontal air - handling unit

يستخدم هذا النوع فى استخدامات الراحة (comfort application) . يوضح شكل (6-3) مكونات هذا النوع ، يمر الهواء النقى من خلال فتحات تهوية مشقوقة (Louver) ثم إلى خانق آلى للهواء النقى (damper) ، ومنه إلى غرفة خلط بين هذا الهواء وهواء الرجوع من المكان المكيف . يلى ذلك المعدات اللازمة لتنقية وتسخين وتبريد وترطيب وإزالة رطوبة وغسل الهواء ثم دفع الهواء من خلال مروحة إلى الحيز المراد تكييفه .

(3-1) وحدة تكييف هواء مجمعة فى نظام وحدات (Unitary Air - Conditioning)

والتى يطلق عليها أيضا وحدة مكتفية ذاتيا (self - contained unit) .

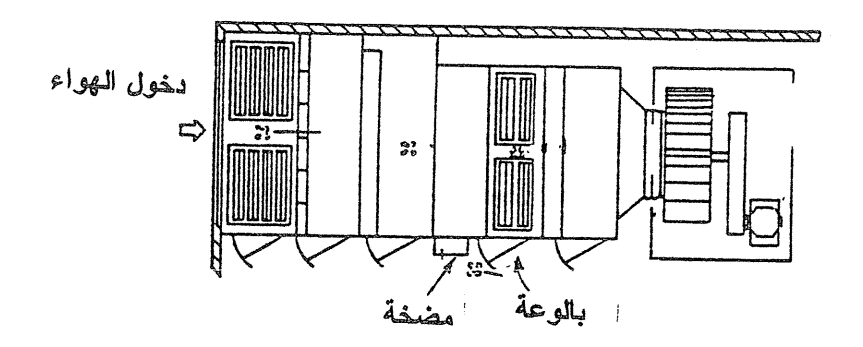
يوضح شكل (6-4)أ وحدة تكييف هواء لحجرة من نوع الشباك أو تركيب خارج المبنى بينما يوضح شكل (6-4)ب وحدة تكييف هواء رأسية .

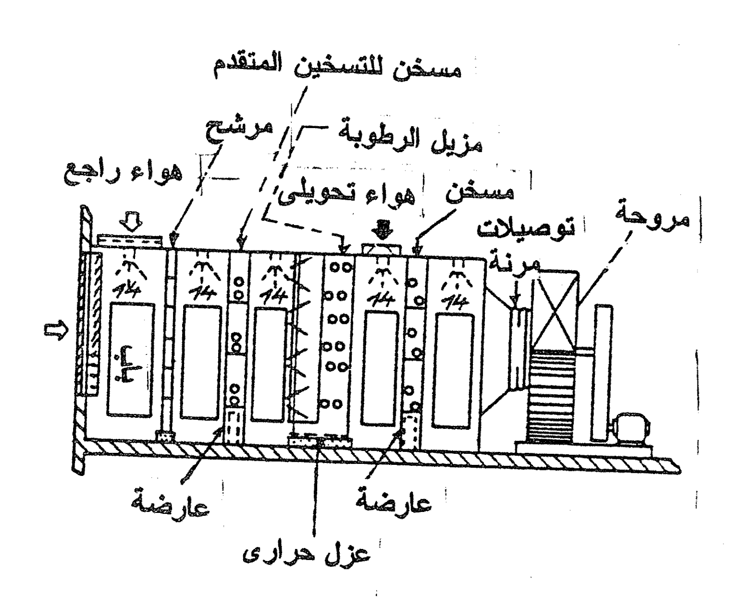
(4-1) نظام وحدة سحب هواء / مياه نموذجية

Typical air - water induction unit system

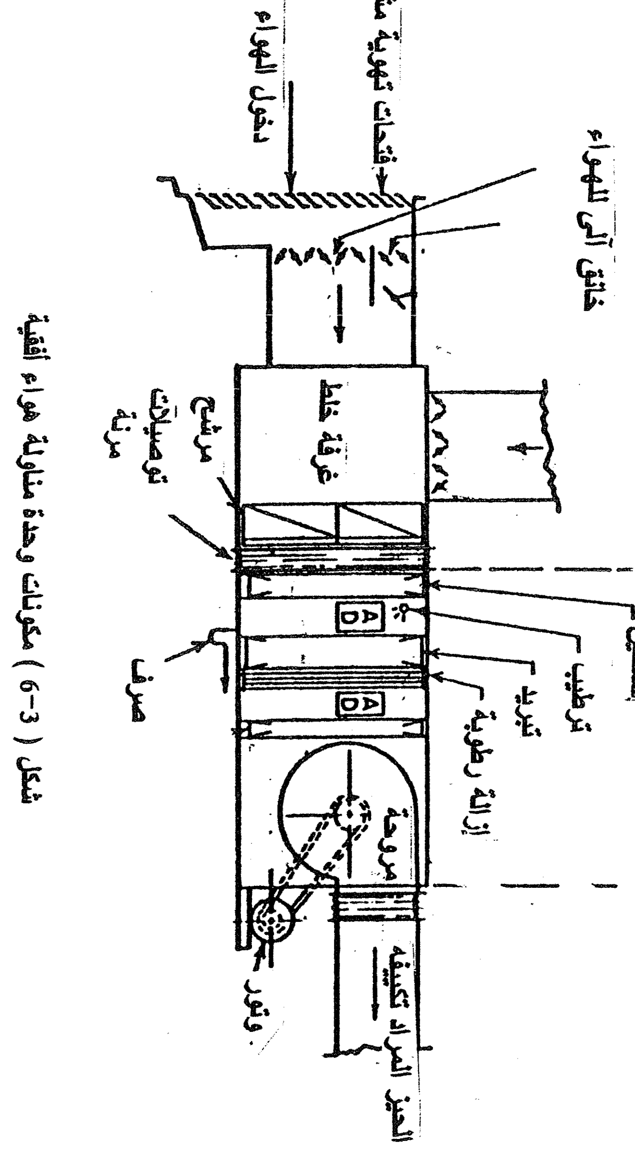
يوضح شكل (6-5) مكونات هذا النظام .

وهو عبارة عن مجموعة تكييف هواء للراحة تستعمل على نطاق واسع فى المبانى ذوات الأدوار المتعددة ، حيث يلزم أن يكون التحكم فى هواء كل حجرة أو كل منطقة أو طابق

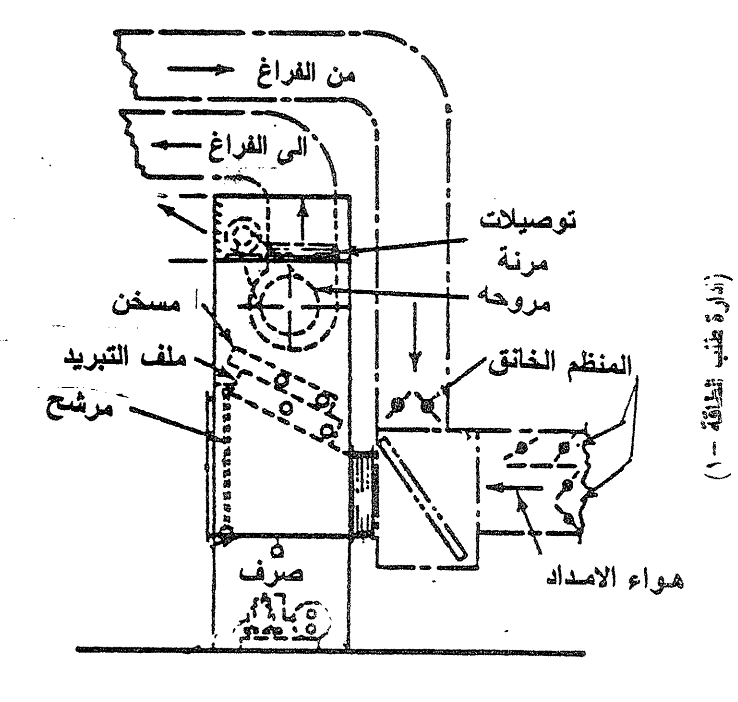




شكل (2-6) نظام محطة مركزية

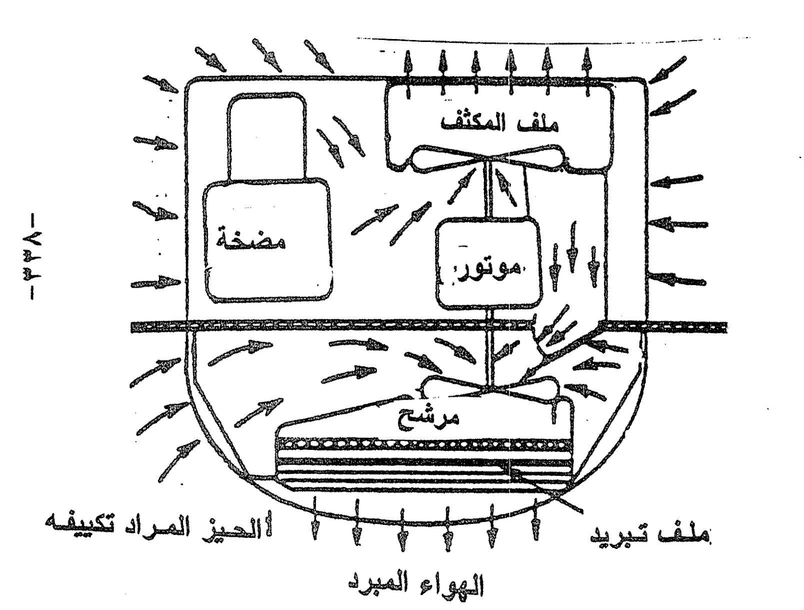


شكل (3-6) مكونات وحدة مناولة هواء أفقية



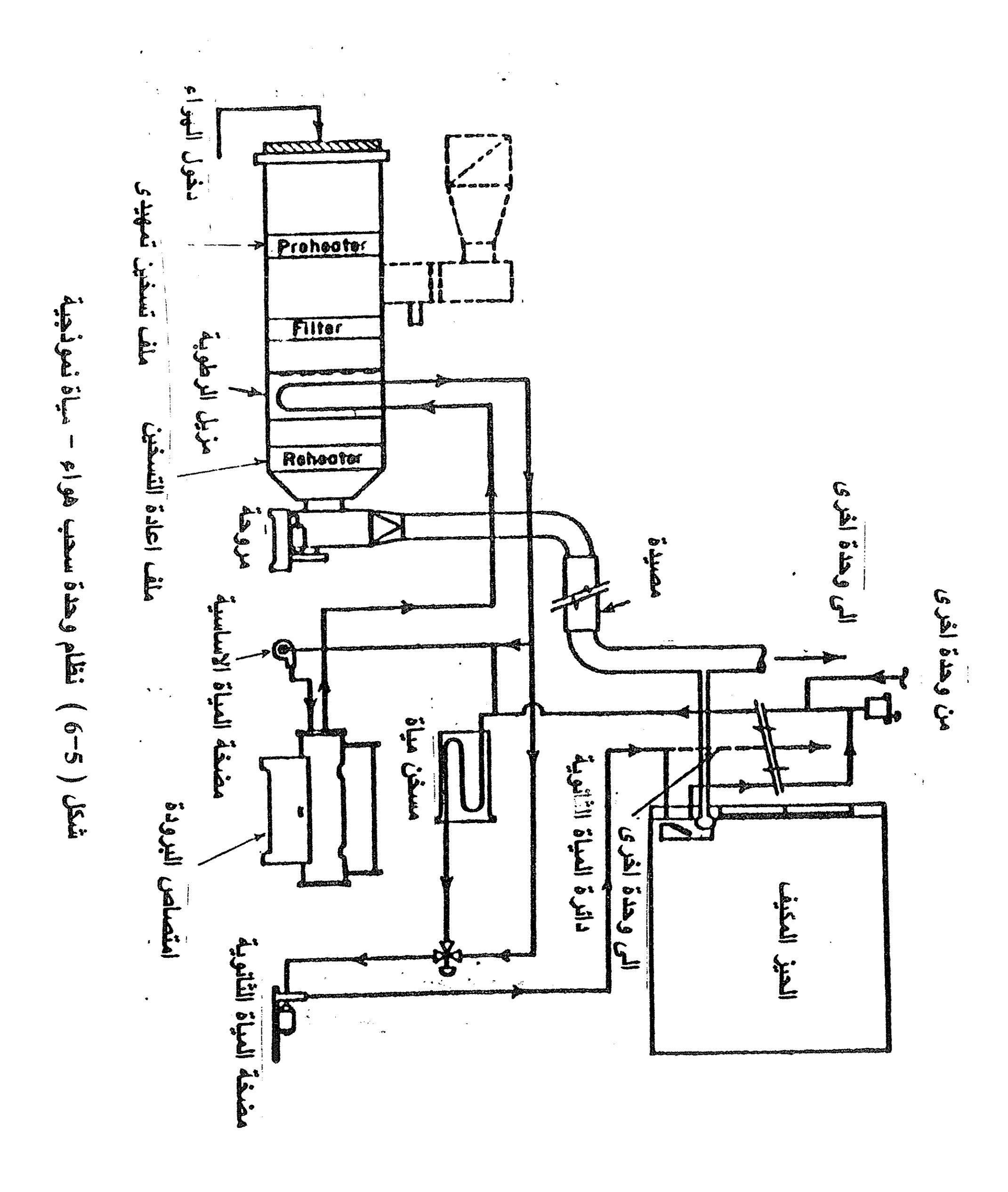
ب وحدة تكييف هواء رأسية

(ادارة طلب الطاقة - ١)



أ وحدة تكييف هواء لحجرة من نوع الشباك أو تركيب خارج المبنى

شكل (4-6) وحدة تكييف هواء مجمعة فى نظام وحدات



شكل (5-6) نظام وحدة سحب هواء - مياه نموذجية

من المبنى على حدة . تستخدم وحدات سحب مع محطة مركزية لامدادها بهواء أولى مكيف بسرعة عالية وبماء دافىء أو مبرد حسب ما يتطلبه التصميم .

وفيما يلى توضيح لبعض مكونات مكيفات الهواء :-

1- مرشح أولى primary filter

هو المرشح الاول الذى يمر خلاله الهواء فى مجموعة مرشحات متتالية وهو مسئول عن معالجة الملوثات الخشنة .

2- مرشح ثانوى secondary filter

فى مجموعة المرشحات ، هو المرشح الذى يلى المرشح الأول .

3- جهاز ترطيب (مرطب) Humidifier

هو جهاز يضيف رطوبة إلى الهواء المار خلاله

يمكن أن يعمل المرطب بالضغط الميكانيكى أى تستخدم مروحة أومضخة للحصول على رذاذ مائى دقيق، أو يمكن أن يعمل المرطب بالحقن حيث يحقق مباشرة تدفقا هوائيا رطبا فى الهواء الذى يخدم حيزا يحتاج إلى ترطيب ويستخدم عادة فى العمليات الصناعية .

4- مروحة Fan

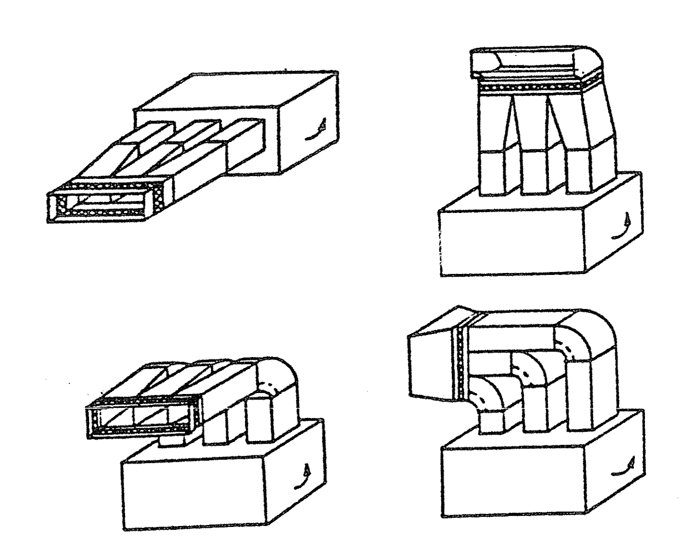
تستخدم المروحة لتحريك ودفع الهواء تحت ضغوط معتدلة . ومن المراوح الشائعة الاستخدام فى مجال التبريد وتكييف الهواء : المراوح ذات الانسياب المحورى ومراوح طاردة مركزية وتصمم وصلات الدخول والتصريف للمراوح بحيث تتلاءم مع أداء المروحة وموضع تركيبها ، ويوضح شكل (6-6) بعض أنواع وصلات التصريف للوحدات ذات المراوح المتعددة فى مجموعات تداول الهواء .

ويوضح شكل (6-7)أ رسم تخطيطى لمروحة محورية أنبوبية (tubeaxial fan)

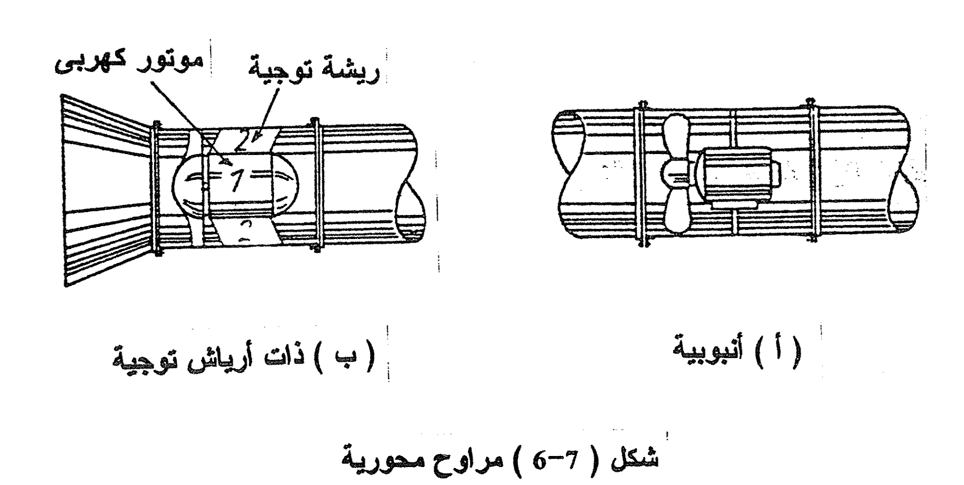
ويبين شكل (6-7)ب رسم تخطيطى لمروحة محورية ذات أرياش توجيه (guide vane axial fan)

5- جهاز إزالة الرطوبة (مزيل الرطوبة) (Dehumidifier)

هو جهاز يمرر الهواء خلاله لتقليل محتواه من الرطوبة . قد يكون الجهاز ملف تبريد ، أو غاسلا للهواء باستعمال المياه الباردة فى أى من الحالتين ، تنخفض درجة حرارة



شكل (6-6) بعض أنواع وصلات التصريف للوحدات ذات المراوح المتعددة فى مجموعات تداول الهواء



شكل (7-6) مراوح محورية

الهواء إلى أقل من درجة حرارة نقطة الندى للهواء عند دخوله إلى الجهاز ، فيتكثف مقدار محدد من مياه رطوبته .
يمكن استخدام مواد كيميائية لازالة الرطوبة ، يكون لها خاصية امتصاص الرطوبة ، بحيث يمرر فوقها الهواء .

6- مزيل القطيرات (Eliminator)
تجهيزه لازالة قطرات المياه الصغيرة من مجرى هوائى قبل توزيعه على الحيز المراد تكييفه . يوضح شكل (6-8) مزيل القطيرات .

7- ملف إعادة التسخين (Reheat coil)
فى مجموعات تداول الهواء ، هو عبارة عن ملف يستخدم لتسخين هواء الامداد بعد تمريره خلال غسالة الهواء أو ملف التبريد .

8- ملف تبريد الهواء (Air cooling coil)
هو مبادل حرارى يستعمل لتبريد الهواء فى مجموعات تكييف الهواء . يحتوى على ملف من النحاس يغذى بالمياه الباردة أو يتمدد فيه وسيط التبريد على الجاف .

9- ملف تسخين تمهيدى (Preheat coil)
هو ملف يركب قبل غسالة هواء أو رشاشات وملف تبريد ، ويمرر خلاله أولا كل هواء الامداد الداخل إلى تلك المعدات . فى بعض الاحيان تستخدم هذه الملفات لتلطيف درجة حرارة الهواء الجديد فى حالات الطقس القارس .

10- منظم خانق (Damper)
وحدة تستخدم فى تنظيم مقدار الهواء المنساب فى ملف تبريد بالهواء أو فى مسالك هواء يتكون من عدة ألواح أو رقائق قابلة للتحريك ومتصل بعضها ببعض .
اذا ركب المنظم الخانق عند المساحة الجهية للملف أو المسلك فانه يسمى "منظما على الوجه" واذا ركب على ممر تجنيبى فيسمى "منظما على الوجهية التجنيبى"
يوضح شكل (6-9) جزء من مبخر مزود بمنظمين خانقين للتحكم فى السعة ، أحدهما على وجه المبخر والاخر على ممر تجنيبى ، بذلك يمكن تنظيم كمية الهواء التى تمر على المبخر بالتحكم فى كمية الهواء التى يتم تجنيبها .

11- منظم خانق بأرياش (Louver damper)

هو منظم له ثلاثة وظائف هى :

- التحكم فى هواء الدخول وهواء الراجع وخلطهما معا .

- تفادى معدات انتقال الحرارة .

- التحكم فى كمية الهواء التى تتداولها المروحة .

ويوضح شكل (6-10) هذا النوع

12- وحدة غسل الهواء (Scrubber)

هى وحدة ترش أو تذرى المياه فى المجرى الهوائى ويمكنها أن تسخن الهواء أو تبرده أو ترطبه أو تزيل رطوبتة ، حسب ما اذا كان الهواء يجرى تسخينه أو تبريده .

13- مجموعة عالية السرعة (High velocity system)

هى أى مجموعة لتكييف الهواء ، فيها يتم نقل الهواء خلال المسالك الرئيسية بسرعات تتراوح بين 600 & 1200 متر فى الدقيقة تقريبا . بينما السرعة فى المسالك الفرعية حوالى 640 متر فى الدقيقة ..

ويوضح شكل (6-11) مجموعة خلط عالية الضغط . فى مثل هذه المجموعات يلزم اتخاذ إجراءات صوتية خاصة بتخفيض أو كبت الضجيج والشوشرة المتولدة أثناء سرعة الهواء .

14- مجموعة منخفضة السرعة (Low velocity system)

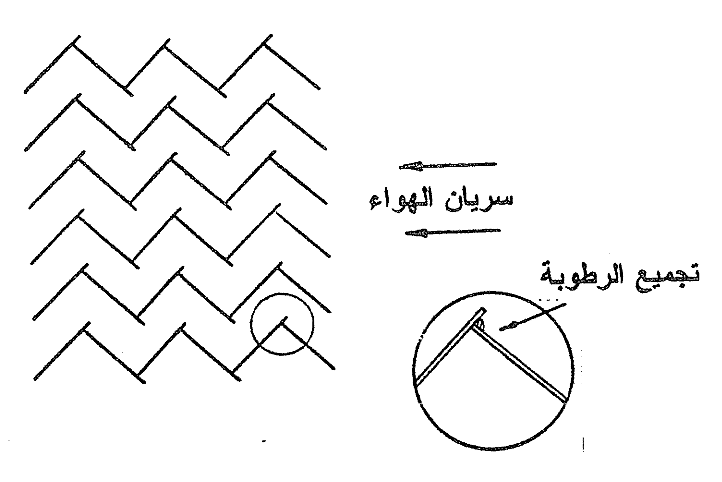
هى أية مجموعة لتكييف الهواء فيها ينتل الهواء خلال المسالك بسرعات تتراوح بين 220 & 760 متر فى الدقيقة .

يوضح شكل (6-12) مجموعة خلط منخفضة السرعة

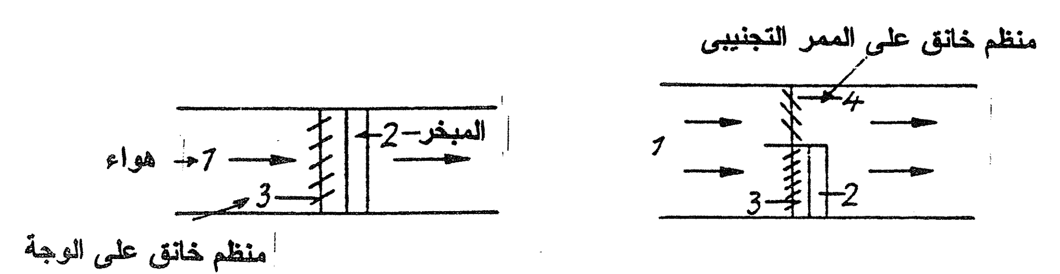
15- برج التبريد (cooling tower)

يستعمل برج التبريد لتبريد المياه اللازم لاغراض التبريد بواسطة المكثفات المبردة بالمياه مثلا يتم تبريد المياه فى البرج عن طريق بعض التبخر للمياه ، حيث تتبدد حرارة التبخر بواسطة الهواء المنساب خلال البرج وتلامسه تلامسا وثيقا مع المياه .

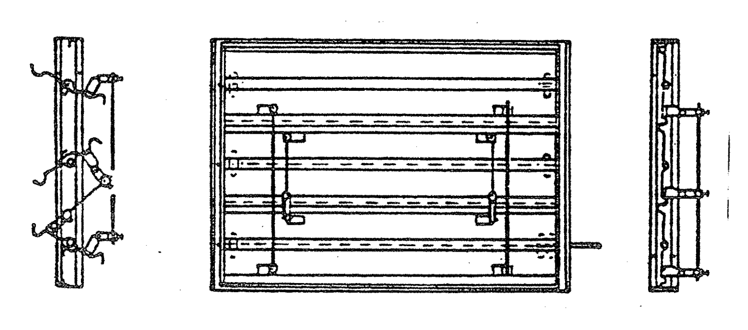
ويتكون البرج كما فى شكل (6-13) حيث يتم توزيع المياه الدافئة المراد تبريده توزيعا



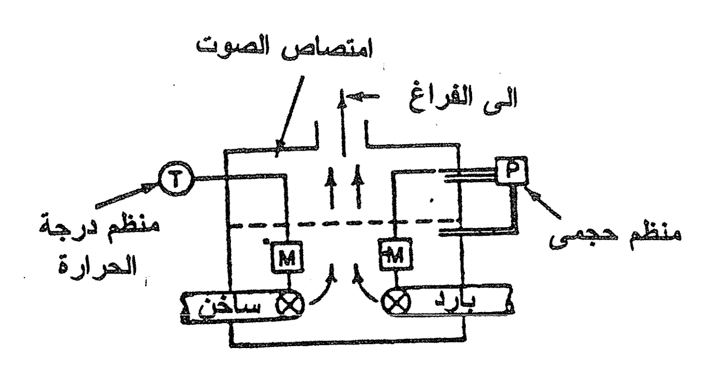
شكل (8-6) مزيل القطيرات



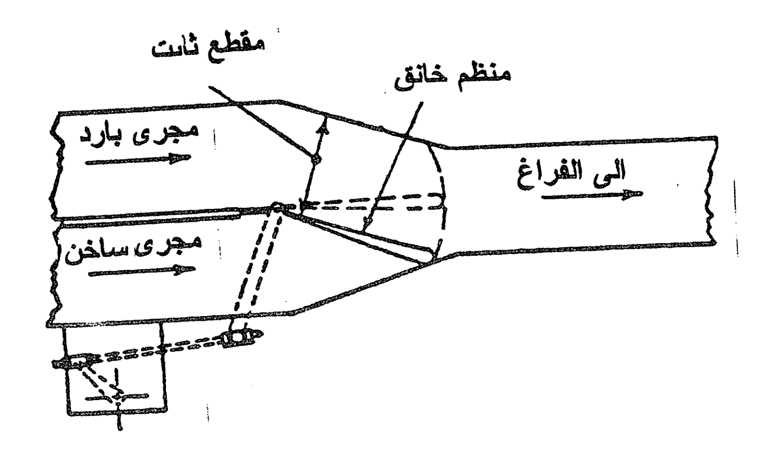
شكل (9-6) مبخر مزود بمنظمين خانقين



شكل (10-6) منظم خانق بأرياش



شكل (11-6)مجموعة خلط عالية الضغط



شكل (12-6) مجموعة خلط منخفضة السرعة

متساويا ، وينساب الماء فوق الحشو فيتلامس مع الهواء المار إلى أعلى ثم ينساب المياه إلى أسفل ليتجمع فى حوض بقاع البرج .

16- برج تبريد بالسحب الجبرى Forced draught cooling tower

هو برج لتبريد المياه بالسحب الميكانيكى ، حيث يتم فيه تركيب مروحة أو أكثر عند مدخل الهواء إلى البرج ، لدفع الهواء خلال حشو البرج ، فى اتجاه صاعد مضاد للمياه الذى يرش من أعلى إلى أسفل . يوضح شكل (6-14) هذا النوع .

17- بطارية تبريد cooling battery

هى ملفات أو أسطح تبريد مرتبة فى غلاف يمرر خلاله ، بواسطة مروحة الهواء أو الغاز المراد تبريده .

ويوضح شكل (6-15) نوعين من بطاريات التبريد

18- بطارية تسخين Heating battery

عبارة عن مجموعة من الانابيب متصلة على التوالى ومزودة بأسطح ممتدة عبارة عن زعانف .

ويوضح شكل (6-16) أنواع مختلفة من بطاريات التسخين . يمر البخار أو المياه الساخنة فى الانابيب بينما يمر الهواء خلال السطح الخارجى .

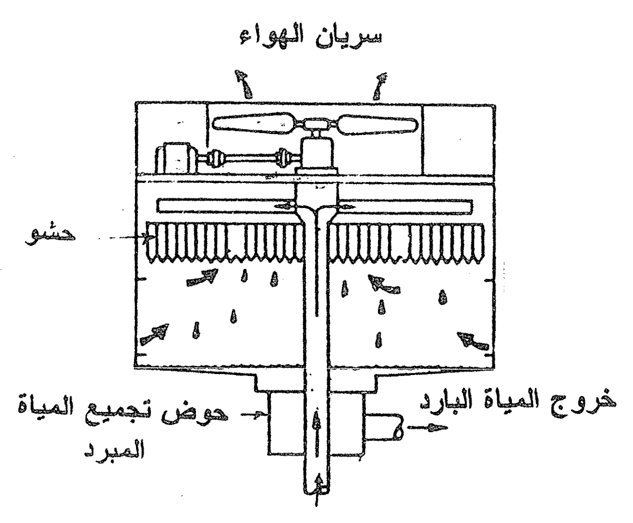
ثانيا : مجارى الهواء Air duct

هى مجموعة من المجارى ينقل خلالها الهواء بغرض توزيعه فى أنحاء مبنى ما ، أو استخراجه منه ، أو لكلا الغرضين . قد يكون المقطع المستعرض للمجرى مستطيلا أو دائريا ، ومن الشائع استخدام المقطع الدائرى فى المجموعات ذات السرعات العالية .

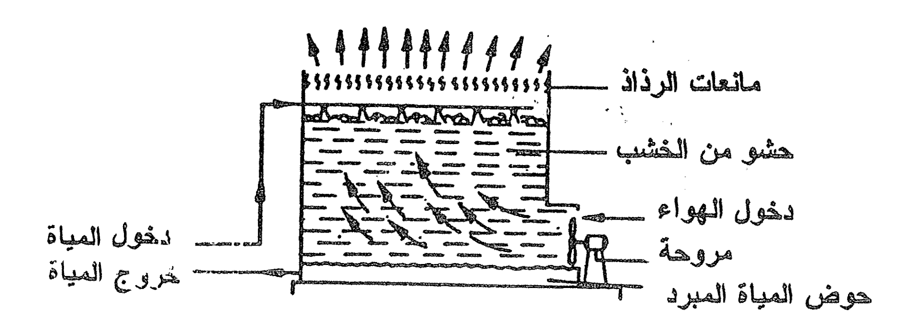
تصنع مجارى الهواء من مواد مختلفة مثل الصاج المجلفن والالومنيوم وأنواع البلاستيك والفيبرجلاس والاسبستوس والخرسانة والخشب .....

كذلك توجد أنواع من المجارى المرنة والتى تصنع من السلك المغطى بالقماش .

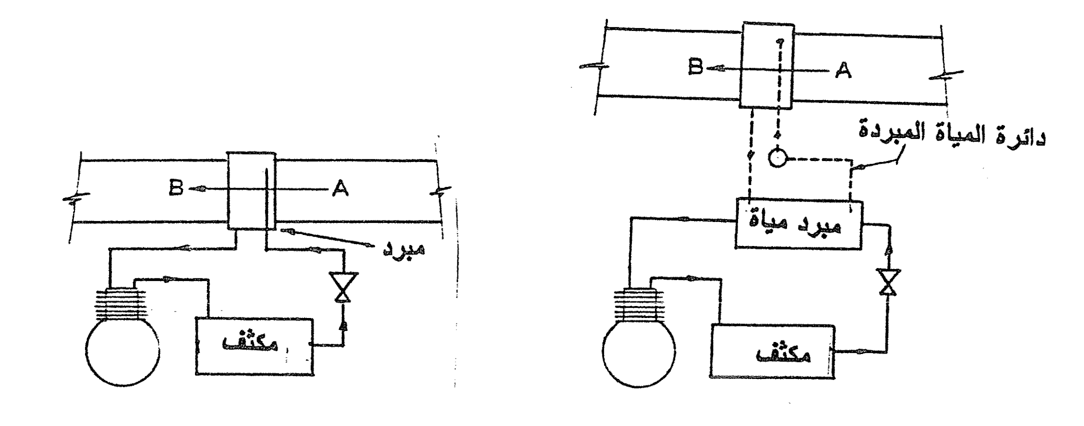
ومن أكثر أنواع المجارى الشائعة فى معظم تطبيقات تكييف الهواء المجارى المصنعة من ألواح الصاج المجلفن .



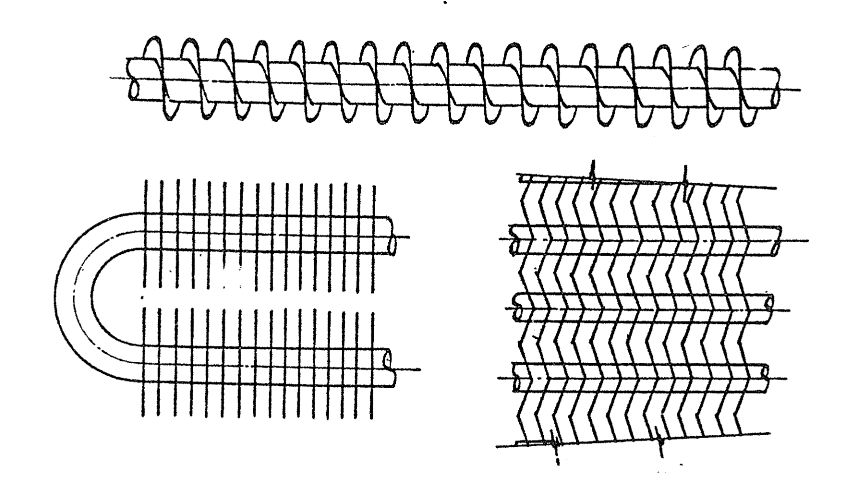
شكل (13-6) برج تبريد



شكل (14-6) برج تبريد بالسحب الجبرى



شكل (6-15) نوعين من بطاريات التبريد



شكل (6-16) أنواع مختلفة من بطاريات التسخين

وتصنف أنواع المجارى إلى :

أ – مجارى امداد supply duct

هى المجارى المستعملة لنقل هواء الامداد إلى الحيز الجارى تكييفه فى مجموعات تكييف الهواء .

ب – مجارى استخراج extract duct

هى المجارى المستعملة لنقل الهواء المستخرج من الحيز الجارى تكييفه فى مجموعات تكييف الهواء .

جـ – مجارى فرعية branch duct

هى مجارى فرعية أصغرمن المجارى الرئيسية المتفرع منها والمستخدم فىمجموعات تداول الهواء .

عزل مجارى الامداد والاستخراج

تغلف المجارى الهوائية عادة بمادة عازلة حرارية تتميز بتوصيلية حرارية منخفضة مثل الصوف الزجاجى .

وسائل تقليل الفقد فى الطاقة فى نظم نقل وتوزيع الهواء :

توجد أربعة وسائل رئيسية لتقليل الفقد فى الطاقة هى :

1- العزل الحرارى لمجارى نقل وتوزيع الهواء .

2- احكام مجارى الهواء لتقليل التسريب .

3- أستخدام مراوح عالية الكفاءة .

4- الاختيار الامثل لفتحات امداد ورجوع الهواء .

قبل استعراض كل وسيلة يلزم معرفة بعض التعريفات الهامة الآتية :

أ – الحمل Load

فى مجموعات التبريد أو تكييف الهواء ، هو العبء الواقع على المجموعة فى أى وقت معين . يقسم الحمل الكلى عادة إلى أحمال معينة مثل الحمل الحرارى ، والحمل الكهربائى وحمل التبريد ....

ب – حمل التبريد Refrigeration load

كمية الحرارة اللازم ازالتها من حيز أو منشأ أو أجزاء ما ، لخفض درجة الحرارة إلى منسوب معين والابقاء عليها عند هذا المنسوب .

جـ – حمل تبريدى Cooling load

معدل ازالة الحرارة اللازم للإبقاء على الظروف المعينة المطلوبة .

ء – معدل التهوية Ventilation rate

مقدار الهواء الجديد اللازم إدخاله إلى غرفة أو حيز مكيف ، ينص عليه بوحدات متر مكعب أو قدم مكعب فى الدقيقة .

هـ – معدل تغييرالهواء Air change rate

عدد مرات تغيير الهواء تغييرا تاما فى وحدة الزمن (فى الساعة الواحدة عادة) .

و – معدل تمرير الهواء Rate of air circulation

حجم الهواء المار خلال حيز ما فى الساعة الواحدة مقسوما على حجم هذا الحيز .

(يطلق عليه أيضا : تغييرات الهواء فى الساعة)

س – الحجم النوعى specific volume

الحجم النوعى لمادة ما هو الحجم الذى تشغله كتلة كيلوجرام واحد من المادة عند درجة حرارة وضغط معينين .

ص – الهواء الجاف Dry Air

خصائص الهواء الجاف هى :

- هو أحد المكونين الأساسيين للهواء الجوى ، ويكون المكون الآخر هو بخار المياه .
- هو خليط من الغازات كالآتى :

الأوزون بنسبة % 78.03 بالحجم

الأكسجين % 20.99

الأرجون % 0.94

ثانى أكسيد الكربون % 0.3

الهيدروجين % 0.01

ض – هواء قياسى standard air

هو الهواء الجاف الذى يساوى حجمه النوعى 0.835 مترمكعب / كجم هواء جاف أو تساوى كثافته 1.2 كجم هواء جاف أو 0.075 رطل هواء جاف لكل قدم مكعب .

الهواء عند $21\ ^0C$ (أو 70^0F) وعند الضغط القياسى عند منسوب سطح البحر يكون له هذا الحجم النوعى وهذه الكثافة .

أولا : العزل الحرارى لمجارى الهواء لتقليل الفقد فى الطاقة

تنقسم حسابات وفر الطاقة الكهربائية الناتجة من العزل الحرارى لمجارى الهواء إلى :

1- فى تطبيقات التبريد
- عزل مجارى الامداد
- عزل مجرى الرجوع

2- فى تطبيقات التدفئة
- عزل مجرى الامداد
- عزل مجرى الرجوع

عزل مجرى الامداد

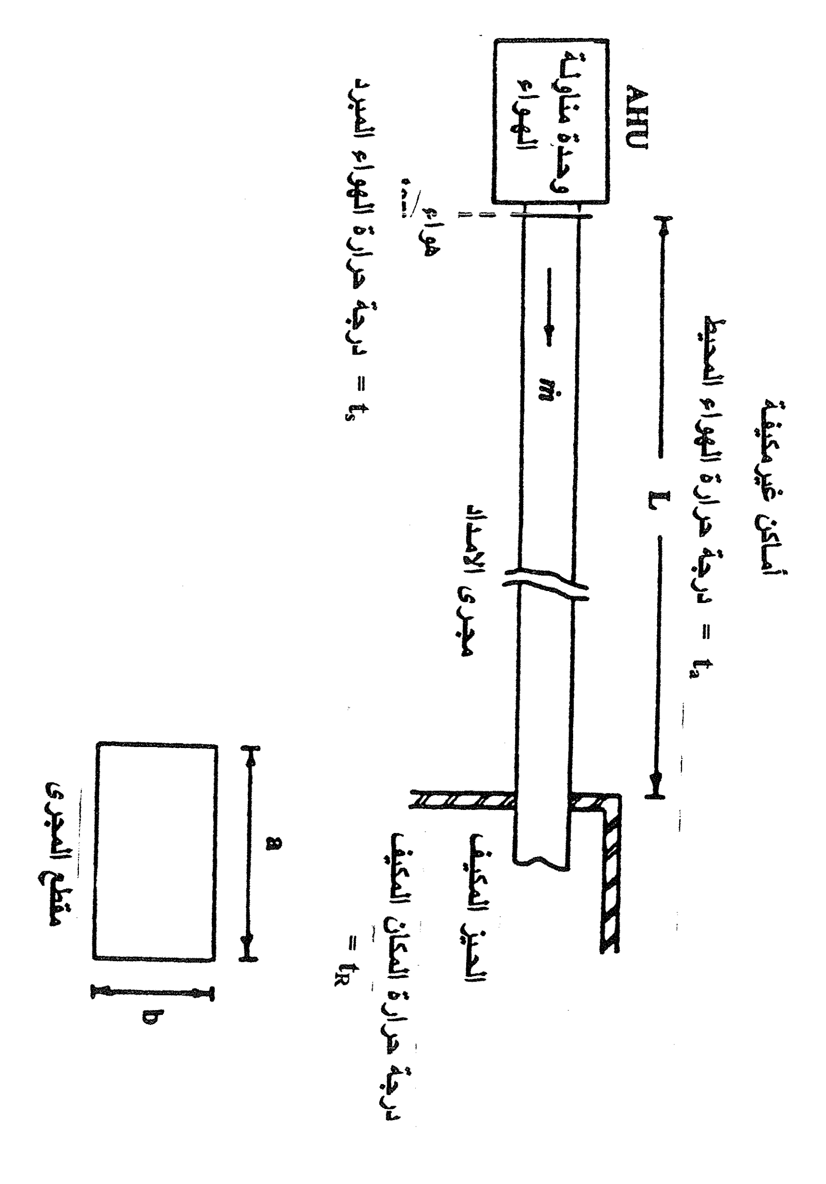
ينتقل الهواء المبرد من وحدة مناولة الهواء إلى الحيز المكيف خلال مجرى الامداد (supply duct) ، كما فى شكل (6-17) ، ويمر هذا المجرى بأماكن غيرمكيفة أو من خارج المبانى حيث تكون غالبا درجة حرارة الهواء المحيط مرتفعة . ينتج عن ذلك فقد حرارى إلى الهواء المنقول يمثل حمل تبريد ثانوى .

نحصل على معدل الانتقال الحرارى من أو إلى مجرى الإمداد من المعادلة الآتية :

$$H = \frac{UPL(2\dot{m}C)}{UPL + (2\dot{m}C)} \left|(t_\alpha - t_s)\right|$$

$$= \frac{UPL(2\rho C)AV}{UPL + (2\rho C)AV} \left|(t_\alpha - t_s)\right| \cdots \quad \cdots [6-1]$$

V= معدل السريان الحجمى



شكل (6-17) مجرى الامداد

حيث : H = معدل الإنتقال الحرارى من أو إلى مجرى الامداد
(Rate of heat transfer to / from the supply duct) (KW)

U = المعامل الإجمالى لانتقال الحرارة
(overall coefficient of heat transfer) (W/m^2k)

$\dot{m}$ = معدل سريان الكتلة فى المجرى
(Rate of mass flow in the duct) (kg/s)

ρ = كثافة الهواء **(Density of air) (kg/m^3)**

v = متوسط سرعة الهواء **(Average air velocity) (m/s)**

c = الحرارة النوعية للهواء **(specific heat of air) (kJ/kg.k)**

t_R = درجة حرارة المكان المكيف (k^o)

t_s = درجة حرارة الهواء المبرد (k^o)

t_a = درجة حرارة الهواء المحيط (k^o)

بفرض أن مقطع المجرى مستطيل ابعادة b ، a فإن

نسبة الطول إلى العرض = **r = aspect ratio**

$$r = \frac{a}{b}$$

p = محيط مقطع المجرى

$$p = 2\,(a + b)$$

A = مساحة مقطع المجرى = **a . b**

L = طول مجرى الامداد

بعزل جدران مجرى الامداد يمكن تخفيض حمل التكييف وبالتالى تقليل القدرة الكهربائية اللازمة لتشغيل النظام وبالتالى تحقيق وفر فى الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال فترات تشغيل نظام تكييف الهواء . بحساب المعادلة (6-1) قبل وبعد عزل جدران مجرى الامداد وبحساب الفرق بينهما ، مع الأخذ فى الاعتبار معدل سريان كتلة الهواء وحمل التبريد (أو التدفئة) للمكان المكيف ،

نحصل على الانخفاض فى الحمل **(reduction in load in kw)** والذى يرمز له بالرموز Q_{red}

نحسب الوفر السنوى فى أستهلاك الطاقة (E_{sav}) (annual energy saving) من المعادلة

$$E_{sav} = Q_{red} \cdot \frac{N}{COP} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots [6-2]$$

حيث :

N = عدد ساعات التشغيل فى السنة (No. of operating hours/year)

COP = معامل الاداء (coefficient of performance)

توجد أشكال بيانية متعددة لتسهيل تقدير الوفر السنوى فىالطاقة الكهربائية نستعرضها فيما يلى:

(1) فى تطبيقات التبريد

الطريقة الشائعة فى التبريد لتكييف الهواء هو التبريد بالضغط الميكانيكى للبخار (Mechanical vapour - compression refrigeration) مع استخدام محرك كهربائى لادارة الضاغط (Compressor)

نحتاج للتعريفات الآتية أولا :

أ - القيمة النسبية لتخفيض حمل التبريد R (relative sensible load reduction) والذى يعرف من العلاقة :

$$R = \frac{Q_{red}}{Q_s} \ \% \quad \cdots\cdots\cdots [6-3]$$

حيث :

Q_{red} = التخفيض فى حمل التبريد (Reduction in load kw)

Q_S = الحمل المحسوس للمكان المكيف (Space sensible load kw)

ب - معامل الحرارة المحسوسة SHF (sensible heat factor)

والذى يعرف من العلاقة :

$$SHF = \frac{Q_S}{Q_S + Q_L} = \frac{Q_S}{Q_T} \quad \cdots\cdots [6-4]$$

حيث Q_L = الحمل الكامن للمكان المكيف (Space latent load kw)

Q_T = الحمل الكلى للمكان المكيف (Space total load kw)

يوضح شكل (6-18) العلاقة بين R & Q_S & Q_T بعد تحديد L & SHF يلاحظ أنه يمكن استخدام Q_T & Q_S بأى من الوحدات الآتية kw أو Ton أو BTU/hr كذلك يمكن استخدام وحدات الطول L أو ft (قدم) أو m (متر)

يوضح شكل (6-19) العلاقة E_{sav} & Q_{red} بعد تحديد عامل التصحيح الاجمالى (k) وعدد ساعات التشغيل (N) .

(2) فى تطبيقات التدفئة

توجد ثلاثة طرق مختلفة لتطبيقات التدفئة لتكييف الهواء هى :

أ - الدورة المعكوسة (أو المضخة الحرارية) (heating pump)

ب- المقاومة الكهربائية (Electric - resistance heating)

جـ- حرق الوقود (Fuel-fired) ثم استخدام وسيط تدفئة أو مياه ساخنة أو بخارأو نواتج احتراق.

وفيما يلى كيفية حساب الوفر السنوى فى الطاقة الكهربائية :

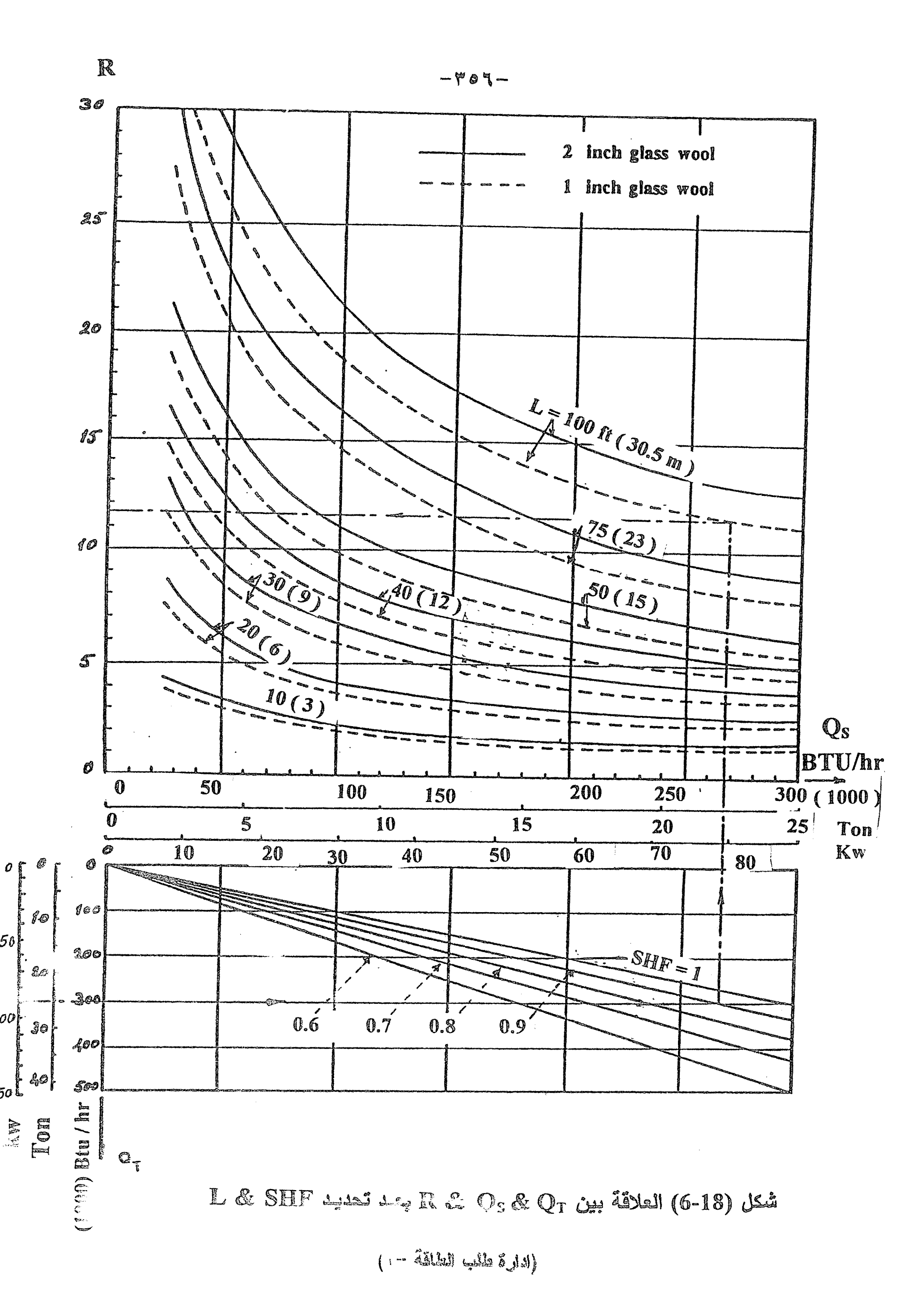
القيم النسبية لتخفيض حمل التدفئة R (Relative sensible load reduction) والذى يعرف من المعادلة :

$$R = \frac{Q_{red}}{Q_s} \% \quad \cdots\cdots [6-5]$$

حيث : Q_S = حمل التدفئة المحسوس للمكان (Space sensible heating load)

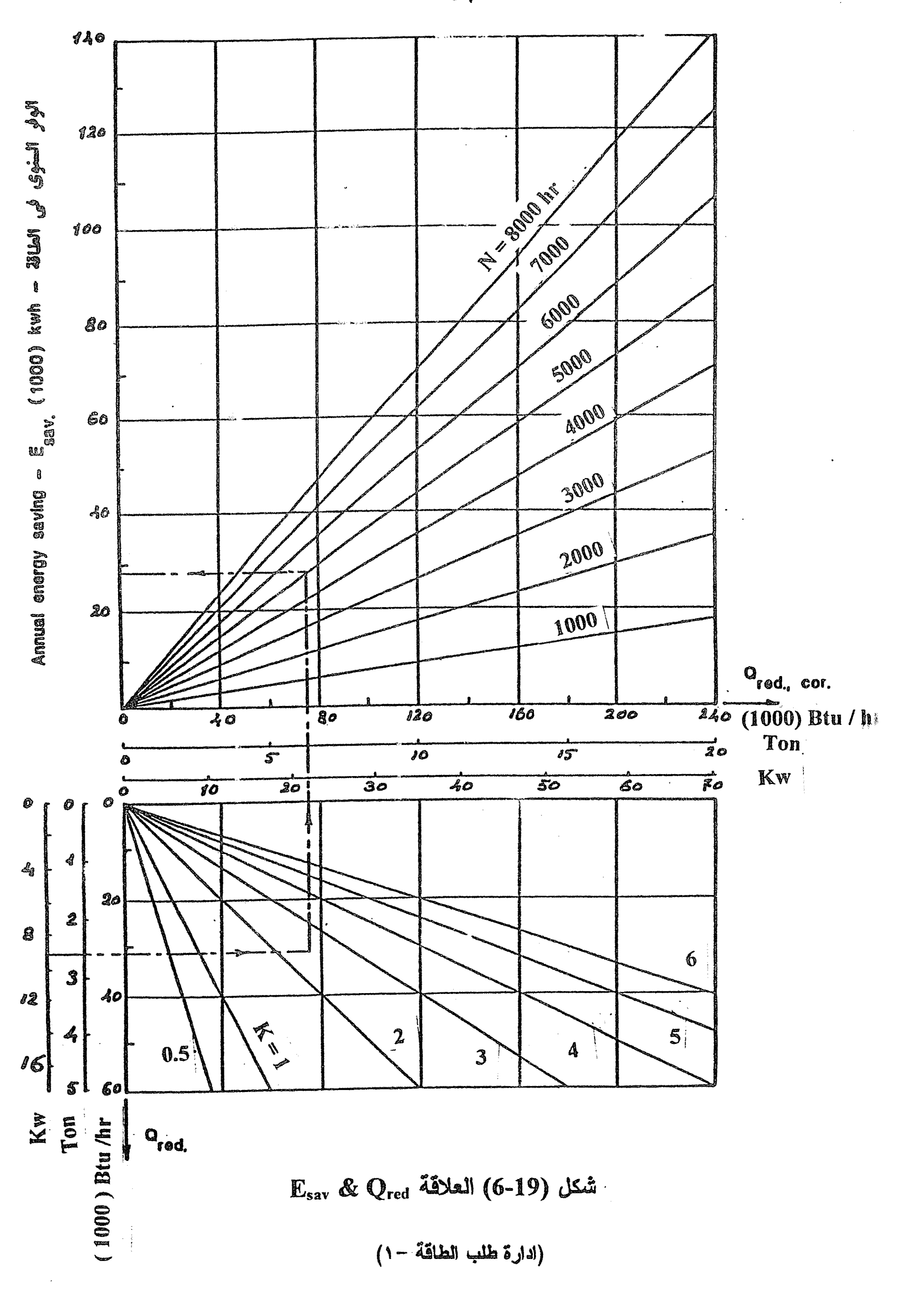
يوضح شكل (6-20) العلاقة بين R & Q_S بعد تحديد الطول L

ويوضح شكل (6-21) العلاقة بين E_{sav} & Q_{red} بعد تحديد عامل التصحيح الاجمالى (k) وعدد ساعات التشغيل (N) وذلك لطرق التدفئة الثلاثة وهى المضخة الحرارية ، المقاومة الكهربائية ، حرق الوقود .



شكل (6-18) العلاقة بين R & Q_s & Q_T بعد تحديد L & SHF

(ادارة طلب الطاقة -١)



شكل (6-19) العلاقة E_{sav} & Q_{red}

(ادارة طلب الطاقة -١)



شكل (6-20) العلاقة بين R & Qs بعد تحديد الطول L



حرق الوقود
المقاومة الكهربائية
المضخة الحرارية

GJ — (1000) Kwh — (1000) Kwh

Annual energy saving - $E_{sav.}$ - الوفر السنوي في الطاقة

0, 500, 1000, 1500
0, 50, 100, 150, 200, 250
0, 10, 20, 30, 40, 50

N = 4000 hr
3000
2000
1000

$Q_{red., cor.}$

0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 (1000) Btu /hr
0, 50, 100, 150, 200, 250 MJ / hr
0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 Kw

$Q_{red.}$

0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 — Kw
0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 — MJ / hr
0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 — (1000) Btu /hr

0.5
K = 1
2
3
4
5
6

شكل (6-21) العلاقة بين E_{sav} & Q_{red}

حساب عامل التصحيح الاجمالى (k)

تخضع الأشكال (18-6) ، (20-6) لظروف تأسيسية محددة هى :

(1) الفرق بين درجة حرارة الهواء الخارجى (t_a) ودرجة حرارة الهواء المبرد الداخل إلى المجرى (t_s) تساوى $30\ ^0F$ أى أن :

$$\left(t_a - t_s\right) = 30\ ^0F\ \left(or\ 16.7\ ^0C\right)$$

(2) سرعة الهواء فى المجرى (v)

$$V = 1800\ fpm\ \left(or\ 9.14\ m/s\right)$$

(3) الفرق بين درجة حرارة المكان المكيف (t_R) ودرجة حرارة الهواء المبرد (t_s) تساوى $17\ ^0F$ ، أى أن :

$$\left(t_R - t_s\right) = 17\ ^0F\ \left(or\ 9.4\ ^0C\right)$$

(4) نسبة طول مقطع المجرى (a) إلى عرضه (b) كالآتى

$$r = 2 : 1$$

لذلك يجب عند حدوث أى تغيير فى هذه الظروف أن يتم تحديد قيم ثلاثة معاملات للتصحيح هذه المعاملات هى k_1 , k_2 , k_3 حيث :

k_1 هوعامل التصحيح المقابل لسرعة الهواء (v) والفرق فى درجة الحرارة (t_a-t_s) والذى نحصل عليه من شكل (22-6)

k_2 هوعامل التصحيح المقابل لفرق درجة الحرارة (t_R - t_s) والذى نحصل عليه من جدول رقم (1-6)

k_3 هوعامل التصحيح المقابل لنسبة طول مقطع المجرى إلى عرضه (r) والذى نحصل عليه من شكل (23-6)

ثم نحسب المعامل الإجمالى للتصحيح (k) من العلاقة :

$$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdots\cdots [6-6]$$

يستخدم هذا المعامل (k) لتصحيح قيمة التخفيض فى حمل التبريد أو التدفئة كالآتى :

$$Q_{red.cor} = Q_{red} \cdot k \quad \cdots\cdots\cdots [6-7]$$

ويلاحظ فى الشكلين (6-19) ، (6-21) استخدامنا للقيمة $Q_{red.cor}$

ويوضح جدول (6-2) ملخص خطوات حساب الوفر السنوى فى الطاقة الكهربائية لنظم تكييف الهواء .

عزل مجرى الرجوع

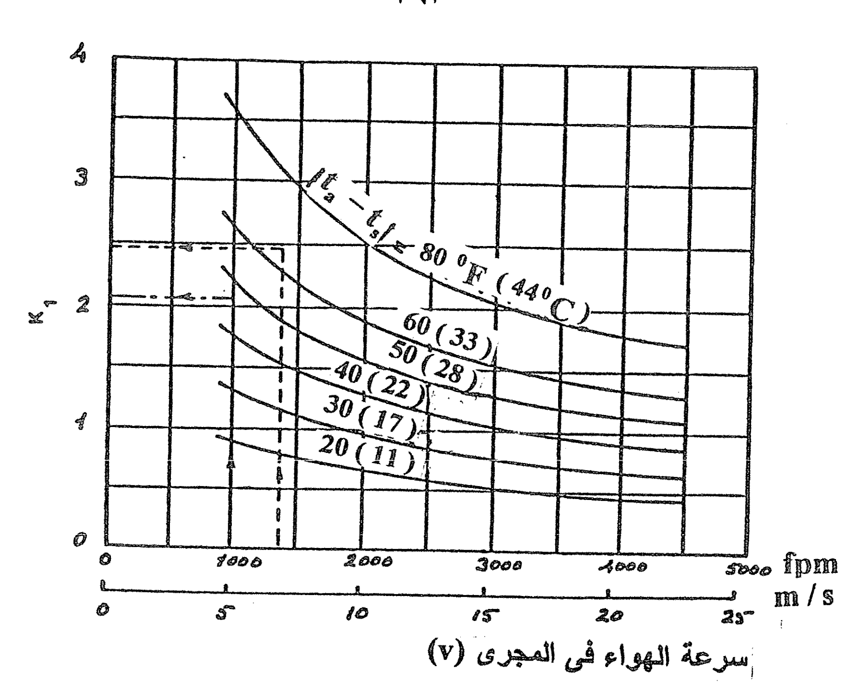
يكون مجرى الرجوع (return duct) مسئولا عن نقل الهواء الراجع من المكان المكيف إلى وحدة تكييف الهواء لإعادة معالجته واستخدامه وإمداده إلى المكان المكيف . يتم خلط هذا الهواء ، قبل دخوله إلى وحدة تكييف الهواء ، مع الهواء الخارجى الجديد الذى يستخدم لتهوية المكان . وعند مرور هذا المجرى ، أو جزء منه بمناطق خارجية أو داخلية غير مكيفة فانه يتعرض لفقد حرارى نتيجة اختلاف درجة حرارة الهواء المحيط عن درجة حرارة الهواء الراجع المنساب فى المجرى وهذا يمثل عبئا اضافيا على نظام التكييف (تبريد أو تدفئة) .

أحيانا يمثل هذا العبء حدا كبيرا لا يمكن التغاضى عنه وذلك فى النظم ذات السعة الكبيرة أو التطبيقات التى تتطلب درجة حرارة داخلية منخفضة أو التى تستخدم مسار طويل لمجرى الرجوع أو أن يكون الطقس الخارجى شديد الاختلاف .

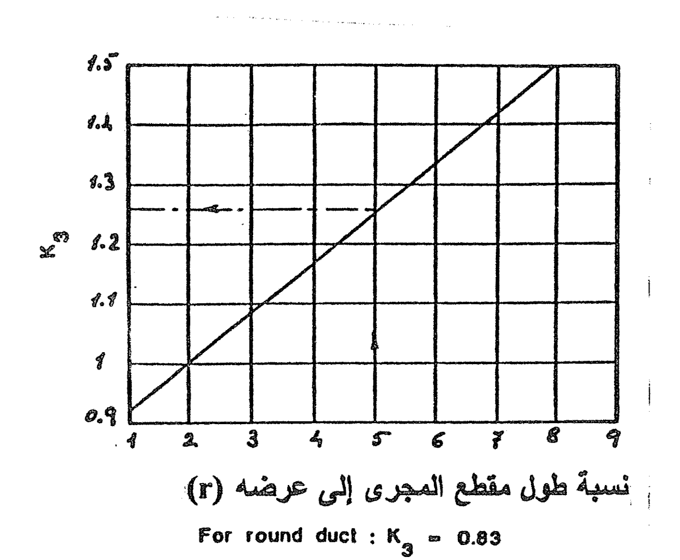
وفى مثل هذه الحالات يمكن تحقيق وفرا كبيرا فى أستهلاك الطاقة بعد العزل الحرارى لمجرى الرجوع .

يوضح شكل (6-24) توضيح لاتصال مجرى الرجوع بين حيز الخلط فى وحدة مناولة الهواء وبين الحيز المكيف .

نحصل على معدل الانتقال الحرارى من أو إلى مجرى الرجوع طبقا للمعادلة الآتية :



شكل (6-22)



For round duct : K_3 = 0.83

شكل (6-23)

$$H_R = \frac{US\cdot(2\dot{m}_R C)}{US+(2\dot{m}_R C)}\cdot\left|(t_a - t_R)\right|$$

$$= \frac{US\cdot(2\,\rho C)\dot{V}_R}{US+(2\,\rho C)\dot{V}_R}\cdot\left|(t_a - t_R)\right| \cdots\cdots\cdots[6\text{-}8]$$

حيث :

H_R = معدل الانتقال الحرارى من أو إلى مجرى الرجوع

(Rate of heat transfer to / from the return duct) (kw)

$\dot{m}_R$ = معدل سريان الكتلة فى المجرى

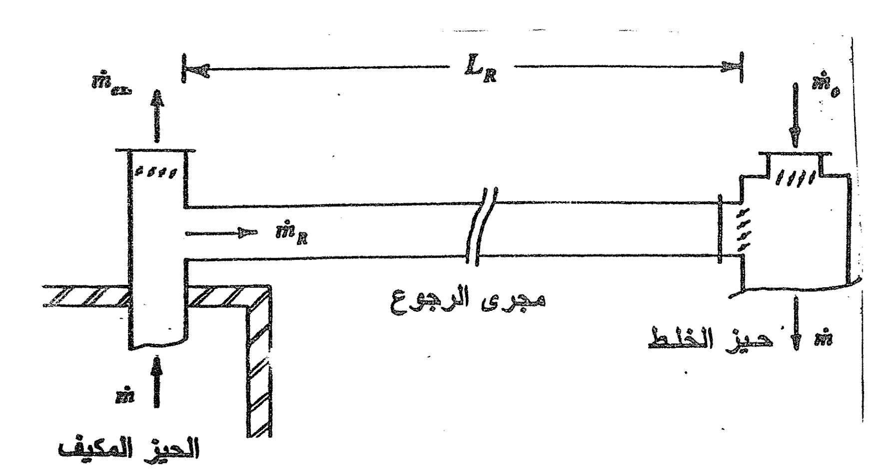
(Rate of mass flow in the duct) (kg/s)

$\dot{V}_R$ = معدل السريان الحجمى فى المجرى

(Volumetric rate of flow in the duct) (m^3/s)

S = مساحة السطح الخارجى لمجرى الرجوع

(Outside surface area of the return duct) (m^2)



شكل (6-24) مجرى الرجــوع

جدول (6-1) عامل التصحيح K_2 المقابل لفرق درجة الحرارة $|t_R - t_s|$

$\|t_R - t_s\|$		K_2
^0F	^0C	
12.6	7	1.16
13	7.2	1.14
14	7.8	1.1
14.4	8	1.087
15	8.3	1.065
16	8.9	1.03
16.2	9	1.024
17	9.4	1
18	10	0.972
19	10.6	0.946
19.8	11	0.927
20	11.1	0.922
21	11.7	0.9
21.6	12	0.887
22	12.2	0.88
23	12.8	0.86
23.4	13	0.852
24	13.3	0.84
25	13.9	0.825
25.2	14	0.821
26	14.4	0.81
27	15	0.793
28	15.6	0.779
28.8	16	0.768
29	16.1	0.766
30	16.7	0.753
30.6	17	0.745
31	17.2	0.741
32	17.8	0.729
32.4	18	0.724
33	18.3	0.718
34	18.9	0.707
34.2	19	0.705
35	19.4	0.697
36	20	0.687
37	20.6	0.678
37.8	21	0.671
38	21.1	0.669
39	21.7	0.66
39.6	22	0.655
40	22.2	0.652
41	22.8	0.644
41.4	23	0.641
42	23.3	0.636
43	23.9	0.628
43.2	24	0.627
44	24.4	0.622
45	25	0.615

جدول (6-2) ملخص خطوات حساب الوفر السنوى فى الطاقة الكهربائية لنظم تكييف الهواء

حساب الوفر السنوى فى الطاقة الكهربائية - تطبيقات التبريد	حساب الوفر السنوى فى الطاقة الكهربائية - تطبيقات التدفئة
1- نحسب القيمة النسبية لتخفيض حمل التبريد R (أ) اذا كان المعلوم Q_S & L_P من شكل (6-18)أ نحصل على R (ب) اذا كان المعلوم Q_T & SHF من شكل (6-18)أ ، ب نحصل على R	1- نحسب القيمة النسبية لتخفيض حمل التدفئة R من شكل (6-20)
2- نحسب القيمة المطلقة للتخفيض فى حمل التبريد Q_{red} كالآتى $Q_{red} = R \cdot Q_S / 100$	2- نحسب القيمة المطلقة للتخفيض فى حمل التبريد Q_{red} كالآتى $Q_{red} = R \cdot Q_S / 100$
3- نحسب معامل التصحيح الكلى $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$	3- نحسب معامل التصحيح الكلى $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$
4- نحسب قيمة التخفيض فى حمل التبريد بعد التصحيح $Q_{red \cdot cor} = K \cdot Q_{red}$	4- نحسب قيمة التخفيض فى حمل التدفئة بعد التصحيح $Q_{red \cdot cor} = K \cdot Q_{red}$
5- نحسب الوفر السنوى فى استهلاك الطاقة E_{sav} من شكل (6-19) بعد تحديد عدد ساعات التشغيل فى السنة	5- نحسب الوفر السنوى فى استهلاك الطاقة E_{sav} من شكل (6-21) بعد تحديد عدد ساعات التشغيل فى السنة

لحساب الوفر السنوى فى استهلاك الطاقة نحتاج لحساب نسبة التهوية (VR) (Ventilation Ratio) والذى يعرف تبعا للمعادلة :

$$VR = \frac{\dot{m}_o}{\dot{m}} = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}} \quad \cdots\cdots\cdots [6-9]$$

حيث :

$\dot{m}$ = معدل سريان كتلة هواء الإمداد
(mass flow rate of supply air) (kg/s)

$\dot{m}_o$ = معدل سريان كتلة هواء المخرج
(mass flow rate of outdoor air) (kg/s)

$\dot{V}$ = معدل السريان الحجمى لهواء الامداد
(Volumetric flow rate in supply air) (m^3/s)

$\dot{V}_o$ = معدل السريان الحجمى لهواء المخرج
(Volumetric flow rate of outdoor air) (m^3/s)

وحيث أن

$$\dot{m}_R = \dot{m} - \dot{m}_o = \dot{m}(1 - VR) \quad \cdots\cdots\cdots [6-10]$$

$$\dot{m} = \frac{Q_S}{C\,(t_R - t_S)} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots [6-11]$$

فان :

$$\dot{V}_R = \frac{\dot{m}_R}{\rho} = \frac{Q_S\,(1-VR)}{\rho C\,(t_R - t_S)} \quad \cdots\cdots\cdots [6-12]$$

تعتمد قيمة نسبة التهوية فى تطبيقات تكييف الهواء على عدة عوامل ترتبط كلها بطبيعة ومتطلبات واحتياجات هذا التطبيق . وعموما يمكن أن تكون نسبة التهوية مساوية للصفر (فى التطبيقات التى لا يتم فيها ادخال متعمد لهواء خارجى) أو مساوية للواحد الصحيح (فى التطبيقات التى تحتاج إلى هواء خارجى بالكامل) .

حساب الوفر فى استهلاك الطاقة الناتج عن العزل الحرارى لمجرى الرجوع

فى تطبيقات التبريد

يوضح شكل (6-25) العلاقة بين Q_S & $\dot{V}_R$ عند VR & $(t_R - t_S)$ مختلفة

ويوضح شكل (6-26) العلاقة بين Q_{red} & E_{sav} عند N & S & $(t_a - t_R)$

فى تطبيقات التدفئة

يستخدم شكل (6-25) للحصول على Q_S ، ثم يستخدم شكل (6-27) الذى يوضح العلاقة بين Q_{red} & E_{sav} عند N & S & $(t_a - t_R)$ (تطبيقات التدفئة) للحصول منه على E_{sav}

مثـــال

يوضح شكل (6-28) البيانات الخاصة بأحد تطبيقات التدفئة (باستخدام مقاومة كهربية) والمطلوب تقدير الوفر السنوى فى الطاقة الذى يتحقق باستخدام عزل حرارى يكافىء 2 بوصة من الصوف الزجاجى لتغليف مجرى الإمداد ، مع الأخذ فى الاعتبار أن ساعات التشغيل $N = 4000\ hr$ سنويا

الحـــل

1 – طول مجرى الإمداد خارج المنطقة المكيفة $L = 40 - 9.5 = 30.5\ m$

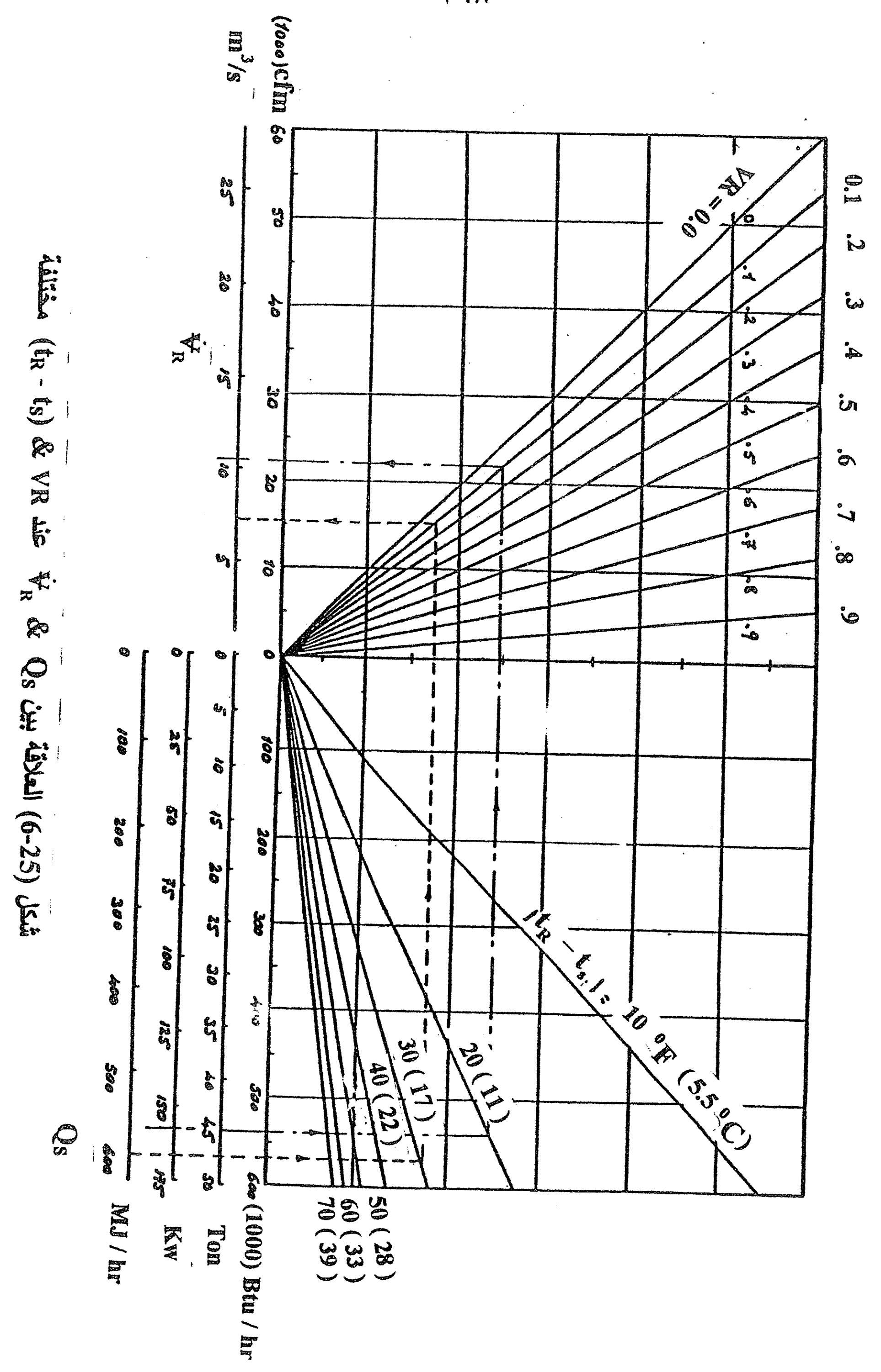
2 – من شكل (6-20) نحصل على التخفيض النسبى لحمل التدفئة R بمعرفة $L = 30.5\ m$ & $Q_S = 300\ MJ/h$ أى أن : $R = 12.8\ \%$

3– نحسب التخفيض فى حمل التدفئة من المعادلة

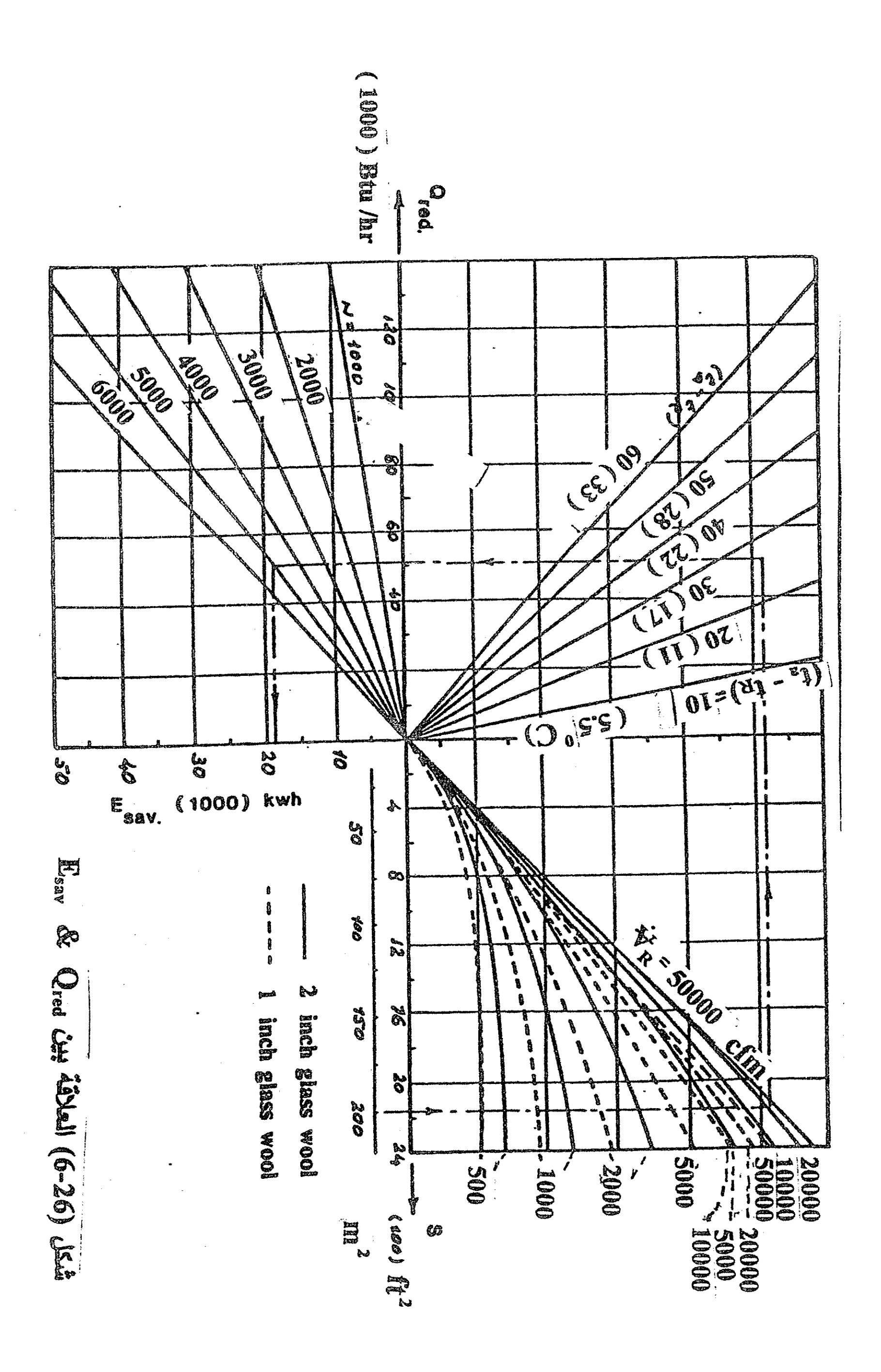
$$Q_{red} = \frac{R}{Q_S} \times 100$$
$$= \frac{12.8}{300} \times 100 = 38.4\ MJ/h$$

4 – نحسب المعامل الإجمالى للتصحيح (k) كالآتى

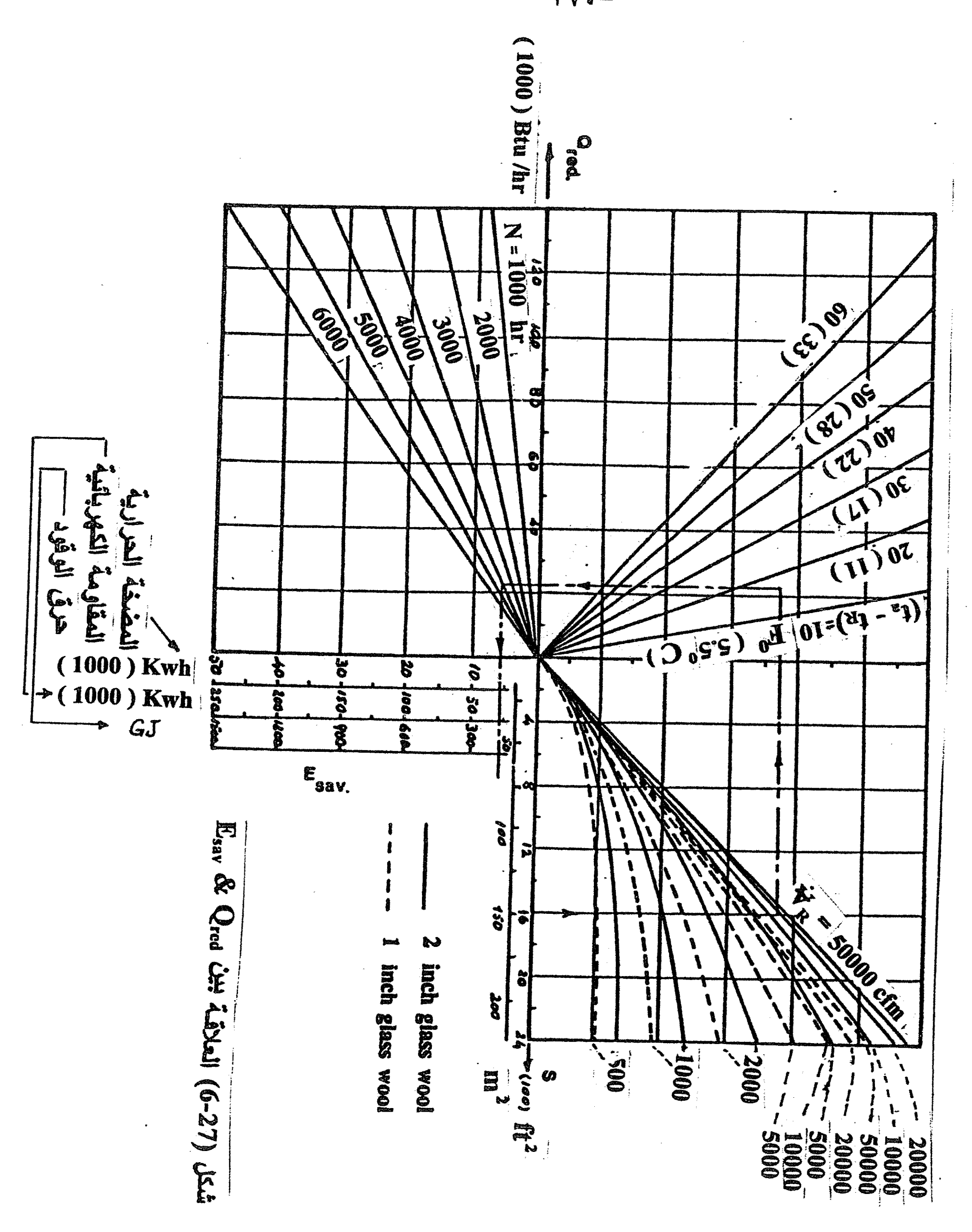
$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$$
$$|t_a - t_s| = |10 - 45| = 35\ ^0C$$



شكل (6-25) العلاقة بين Qs & V̇R عند VR & (tR - ts) مختلفة



شكل (6-26) العلاقة بين E_{sav} & $\overline{Q_{red}}$



شكل (6-27) العلاقة بين E_{sav} & Q_{red}

من شكل (6-22) عند $V = 7\ m/s$ & $|t_s - t_s| = 35\ ^0C$ نحصل على $K_1 = 2.45$

$$|t_R - t_s| = |22 - 45| = 23\ ^0C$$

من جدول (6-1) نحصل على $K_2 = 0.64$

ومن شكل (6-23) عند $r = 5$ نحصل على $K_3 = 1.255$

$$\therefore K = 1.968$$

5 - نحسب $Q_{red.cor}$

$$Q_{red.cor} = Q_{red} \cdot K$$
$$= 38.4 \times 1.968 = 45.57\ \ MJ/h$$

6 - من شكل (6-21) بدلالة $Q_{red.cor} = 38.4\ MJ/h$ & $K = 1.968$ &

نحصل على $N = 4000\ \ h$

$$E_{sav} = 84000\ kwh$$

مثـــال

يوضح شكل (6-29) البيانات الخاصة بأحد تطبيقات التبريد .

والمطلوب تقدير الوفر السنوى فى الطاقـة الـذى يتحقق باستخدام عـزل حـرارى لمجـرى الـرجـوع 2 بـوصـة مـن الصوف الـزجـاجى ، اذا كـان عـدد سـاعـات التشغيل المتـوقـع $N = 5000$ hr سنويا .

نسبة التهوية % 10 ، معامل الحرارة المحسوسة 0.9

الحـــل

1 - يخضع معامل الحرارة المحسوسة للمعادلة الآتية :

$$SHF = \frac{Q_S}{Q_T}$$

$$\therefore Q_S = SHF \cdot Q_T$$

$$= 0.9 \times 175.8 = 158.22 \text{ kw}$$

٢- لحساب $\dot{V}_R$ فان :

$$|t_R - t_S| = 25 - 14 = 11^\circ C$$

فـى شـكل (6-25) وبمعرفـة $Q_S = 158.22$ kw & $|t_R - t_S| = 11^\circ C$ &

$VR = 10\% = 0.1$

نحصل على معدل السريان الحجمى للهواء فى المجرى

$$\dot{V}_R = 10.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 22250 \text{ cfm}$$

٣- لحساب الوفر السنوى

$$t_a - t_R = 40 - 25 = 15^0 C$$

$$S = 2(a+b)\cdot L = 2(1.5+1)\times 40 = 200m^2$$

من شكل (6-26) وبمعرفة

$$\&\ \dot{V}_R = 22250\ cfm\ \ \&\ \ Q_{red}\ \ \&\ \ S = 200m^2\ \ \&\ \ (t_a - t_R) = 15\ ^0C$$

$N = 5000\ hr$ نحصل على :

$$E_{sav} = 19 \times 1000\ \ kwh$$

$$= 19000\ \ kwh$$

ثانيا : احكام مجارى الهواء لتقليل التسرب

يؤدى تسرب الهواء المار من أو إلى المجارى الناقلة للهواء المكيف إلى فقد فى الطاقة المستهلكة فى نظم تكييف الهواء . ويحدث التسرب فى كل من مجرى الإمداد ومجرى الرجوع وأماكن وصلات الانحناءات (elbow) .

تعتمد كمية الهواء المتسرب على مدى جودة تصنيع وتركيب المجرى والوصلات ، وقيمة ضغط الهواء داخل المجرى ، ويمكن الحد من تسرب الهواء بإحكام الوصلات واستخدام المعاجين والشرائط اللاصقة المقاومة للتسرب ومراعاة الدقة والأصول الفنية الخاصة بالتركيبات والتحميل والتعليق ، فمثلا يوضح شكل (6-30) بعض الوصلات المستخدمة لمجرى ضغط عالى ويلاحظ احتواءهما على وصلة سدود للهواء (Air - tight joint) ولاصق (adhesive) .

تعرف نسبة التسرب (leakage ratio) بأنها النسبة بين كمية الهواء المتسرب (mass flow rate of leakage air) وكمية الهواء الداخلة إلى المجرى أو الخارجة منه (mass flow rate of inward / outward air) ، وتكون نسبة التسرب حوالى :

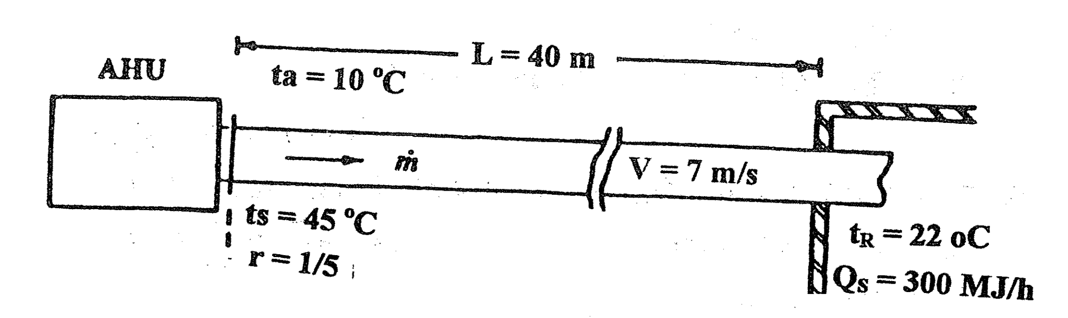
من 1% إلى 5% للمجارى المحكمة وجيدة التنفيذ

من 5% إلى 10% للمجارى متوسطة الجودة

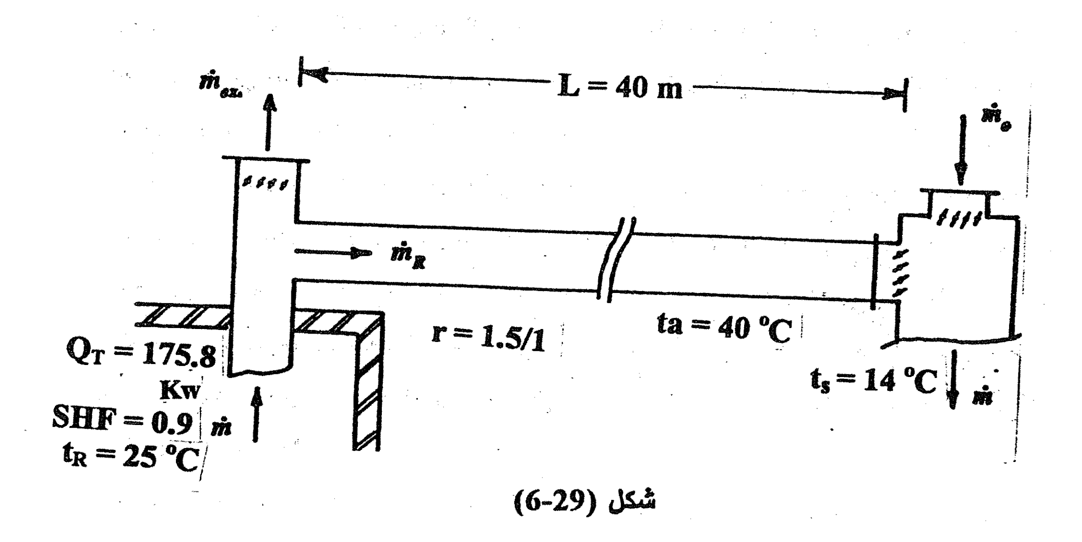
من 30% وأكثر بعض المجارى رديئة التنفيذ

وعمليا يتم حساب هذه النسبة بقياس كمية تصرف الهواء فى بداية المجرى ونهايته .

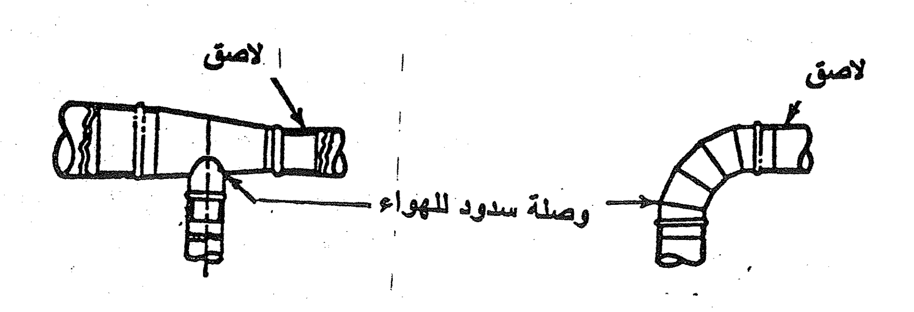
وتحدد نسبة التسرب ونسبة التهوية تبعا لمواضع تسرب الهواء فى نظام تكييف الهواء , يوضح جدول (6-3) ثلاثة حالات مختلفة تبعا لاتجاهات تسرب الهواء فى المجارى .



شكل (6-28)



شكل (6-29)



شكل (6-30) بعض الوصلات المستخدمة لمجرى ضغط عالى

(ادارة طلب الطاقة -١)

جدول (6-3) تعريف نسبة التسرب ونسبة التهوية

	التسرب من مجرى الامداد	تسرب داخل مجرى الرجوع	تسرب خارج مجرى الرجوع
وصف نظام تكييف الهواء واتجاهات تسرب الهواء	Space, AHU $\dot{m}_1 > \dot{m}_2$	Space, AHU $\dot{m}_2 > \dot{m}_1$	Space, AHU $\dot{m}_1 > \dot{m}_2$
نسبة التسرب (I) Leakage ratio	$I = \dot{m}_L / \dot{m}_1$ $\dot{m}_o = \dot{m}_{ex}$	$I = \dot{m}_L / \dot{m}_2$ $\dot{m}_{ex} = \dot{m}_o + \dot{m}_L$	$I = \dot{m}_L / \dot{m}_1$ $\dot{m}_o = \dot{m}_{ex} + \dot{m}_L$
نسبة التهوية (VR) Ventilation ratio	$VR = \dot{m}_o / \dot{m}_2 = \dot{m}_{ex} / \dot{m}_2$	$VR = \dot{m}_o / \dot{m}$ (نسبة التهوية المصممة)	$VR = \dot{m}_{ex} / \dot{m}$ (نسبة التهوية المصممة)

حيث :

$\dot{m}_o$ = معدل سريان كتلة الهواء الخارجى (kg/s)
$\dot{m}$ = معدل سريان كتلة هواء الإمداد (kg/s)
$\dot{m}_{ex}$ = معدل سريان كتلة هواء العادم (kg/s)
$\dot{m}_L$ = معدل سريان كتلة هواء التسرب (kg/s)

(ادارة طلب الطاقة - ١)

حساب الفقد النسبى فى الطاقة نتيجة تسرب الهواء من المجارى

يؤدى تسرب جزء من الهواء المكيف من مجرى الامداد ومجرى الرجوع إلى تحميل نظام التكييف بحمل اضافى يمكن حسابه رياضيا تبعا لجدول رقم (6-4)

كذلك يمكن حساب الفقد النسبى فى الطاقة الناتج من تسرب الهواء المكيف باستخدام المخططات البيانية كالآتى :

١ - التسرب من مجرى الامداد - تطبيقات التبريد

يوضح شكل (6-31) مخطط بيانى يستخدم لتقدير الفقد السنوى فى الطاقة الناتج عن تسرب الهواء المكيف من مجرى الإمداد وقيمة الفقد النسبى فى الطاقة (كنسبة مئوية من الاستهلاك الكلى الامثل للطاقة) وذلك بدلالة :

نسبة التسرب - حمل التبريد الكلى للحيز - عدد ساعات التشغيل

وقد وضع المخطط البيانى بناء على الظروف الآتية :

* أن يستخدم فى تطبيقات الراحة والتطبيقات السكنية
* حالة الهواء الخارجى هى المتوسط اليومى لظروف التصميم المحلية صيفا
* الفرق بين درجة حرارة المكان المكيف وهواء الامداد المبرد هو $10\ ^{0}C$
* نسبة التهوية % 25

وفى حالة اختلاف أى من هذه الظروف فانه يجب تصحيح القراءات كالآتى :

أ - تصحح كل من قيمة الحمل الاضافى Q_{ad} ، والفقد السنوى فى الطاقة E_W كالآتى :

$$Q_{ad\cdot cor} = Q_{ad}\left\{0.338\frac{h_o - h_s}{h_R - h_s}\right\}$$

$$E_{w\cdot cor} = E_w\left\{0.338\frac{h_o - h_s}{h_R - h_s}\right\}$$

ب - يصحح قيمة الفقد النسبى فى الطاقة REW كالآتى :

$$REW_{cor} = REW\left\{1.49/\left(1 + VR\frac{h_o - h_R}{h_R - h_S}\right)\right\}$$

جدول (6-4) حساب الفقد النسبى فى الطاقة نتيجة تسرب الهواء من المجارى

البنـــد	التسرب فى مجرى الامداد تطبيقات التبريد / التدفئة	التسرب فى مجرى الرجوع تطبيقات التبريد / التدفئة
الحمل الاضافى (Kw)	$Q_{ad} = \dot{m}_L (h_O - h_S)$ $= \frac{1}{1-l} Q_T \left(\frac{h_O - h_S}{h_R - h_S} \right)$	$Q_{ad} = \dot{m}_L (h_O - h_R)$ $= l\, Q_T (1 - VR) \left(\frac{h_O - h_R}{h_R - h_S} \right)$
فقد الطاقة السنوى (Kwh)	$E_w = Q_{ad} \cdot \frac{N}{COP}$	$E_w = Q_{ad} \frac{N}{COP}$
الحمل الاجمالى (Kw)	$Q = Q_T \left(1 + VR \frac{h_O - h_R}{h_R - h_s} \right)$	$Q = Q_T \left(1 + VR \frac{h_O - h_R}{h_R - h_S} \right)$
الاستهلاك الكلى للطاقة (Kwh)	$E = Q \cdot \frac{N}{Cop}$	$E = Q \cdot \frac{N}{COP}$
الفقد النسبى فى الطاقة	$REW = \frac{E_w}{E} \times 100$	$REW = \frac{EW}{E} \times 100$

حيث :

Q_T = الحمل الكامن للمكان المكيف (space latent load)(KW)

Q_{ad} = الحمل الاضافى بوحدات (KW) (Additional load)

$\dot{m}_L$ = كمية الهواء المتسرب (Kg/s) (mass flow rate of leakage air)

= معدل سريان كتلة الهواء المتسرب

h_O = انثالبيا الهواء الخارجى (KJ/Kg dry air) (Enthalpy of outdoor air)

h_S = انثالبيا هواء الامداد (KJ/Kg dry air) (Enthalpy of supply air)

h_R = انثالبيا هواء الرجوع (KJ/Kg dry air) (Enthalpy of return air)

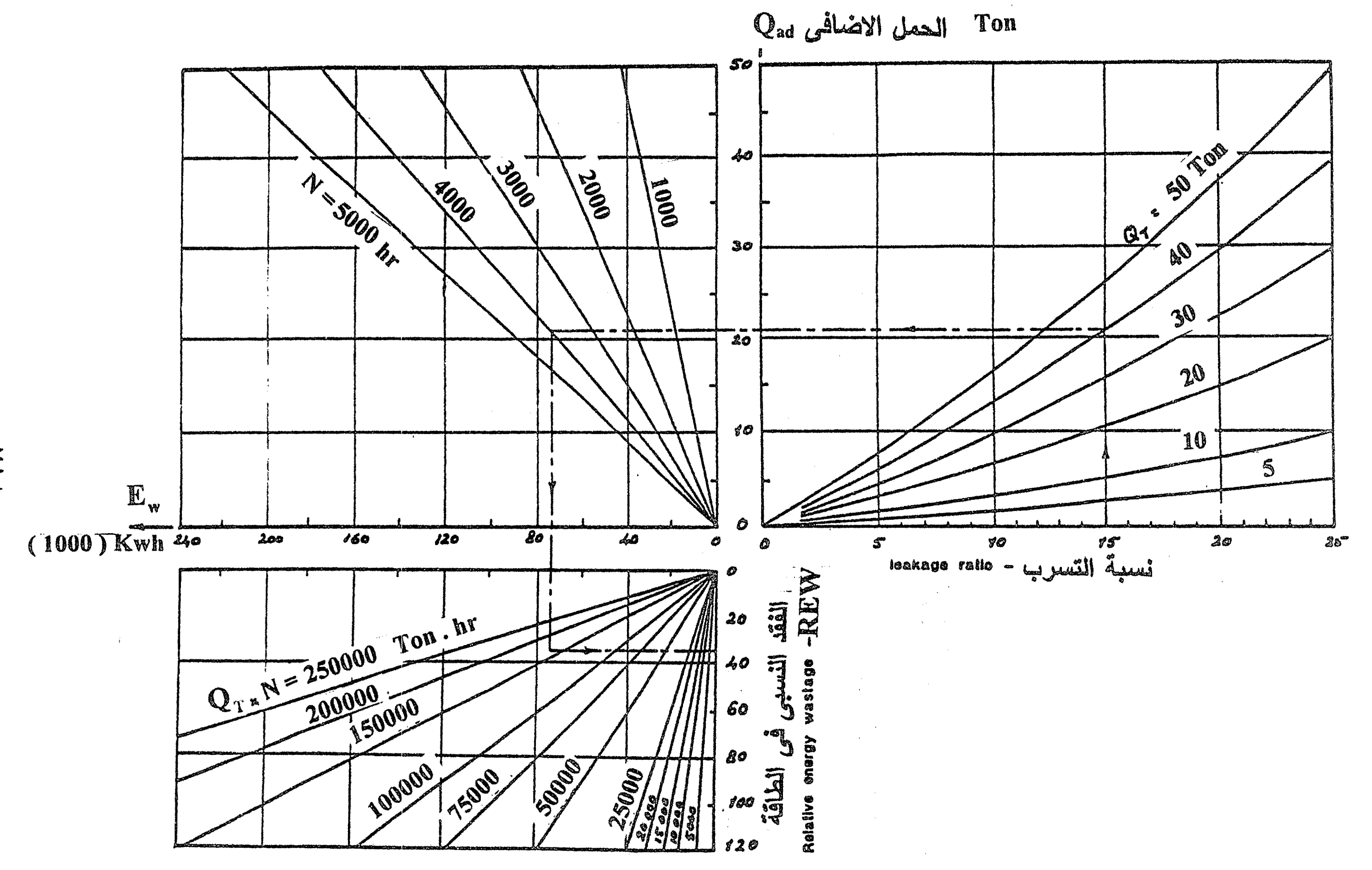
l = نسبة التسرب (leakage ratio)

VR = نسبة التهوية (ventilation ratio)

N = عدد ساعات التشغيل فى السنة

COP = عامل الاداء (coefficient of performance)

REW = الفقد النسبى فى الطاقة (Relative energy wastage)



شكل (6-31) مخطط بيانى يستخدم لتقدير الفقد السنوى فى الطاقة الناتج عن تسرب الهواء المكيف من مجرى الإمداد وقيمة الفقد النسبى فى الطاقة

عموما يمكن استخدام المخطط البيانى على مدى واسع والثقة فى النتائج بدرجة مقبولة من الدقة .

يوضح شكل (6-32) مخطط بيانى للحصول على الفقد النسبى فى الطاقة الناتج من عدم احكام مجرى الامداد بالهواء المبرد بدلالة :

نسبة التهوية (VR) - نسبة التسرب (I)

مثـــال

لاحد نظم التكييف تكون VR = 20 % & I = 20 %

احسب الفقد فى الطاقة كنسبة من استهلاك الطاقة الكلية لنظام التبريد .

الحـــل

من شكل (6-32) عند I = 20 % & VR = 20 % فإن :

REW = 54 %

أى أن الفقد فى الطاقة خلال أى فترة من موسم التبريد يمثل 54 % من الاستهلاك الكلى للطاقة خلال نفس الفترة وعند حدوث نسبة تسرب 20 %

2- التسرب من مجرى الامداد - تطبيقات التدفئة

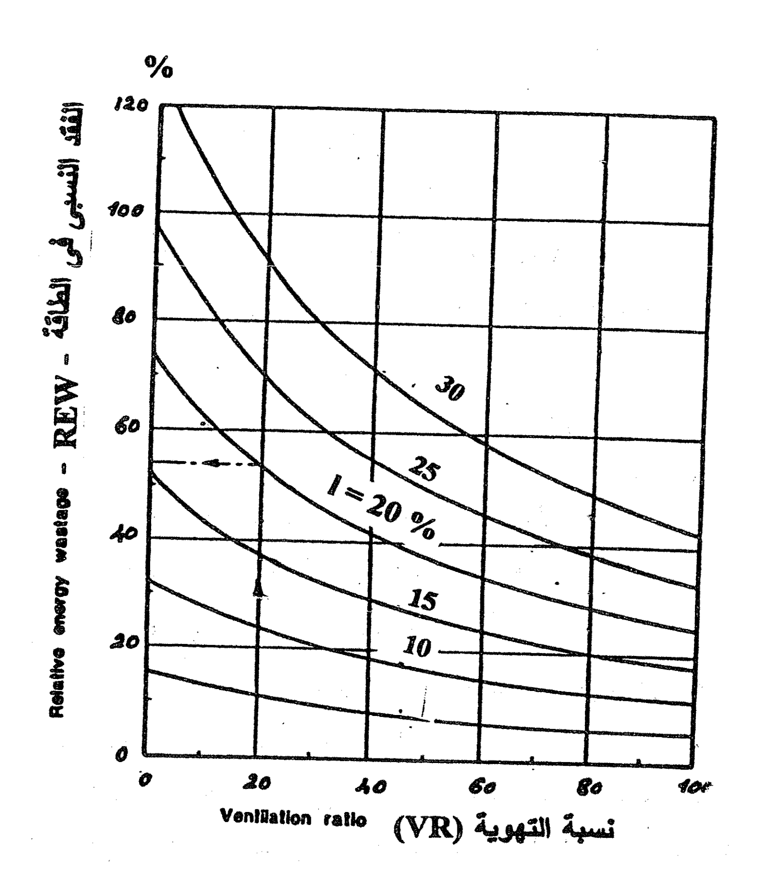
يوضح شكل (6-33) مخطط بيانى نحصل منه على الفقد السنوى فى الطاقة الناتج من تسرب الهواء الساخن من مجرى الامداد وذلك بدلالة :

نسبة التسرب (I)- حمل التدفئة الكلى (Q_{ad})- عدد ساعات التشغيل (N) ، وقد اسس هذا المخطط على أساس أن الفرق بين درجة حرارة المكان المكيف وهواء الإمداد المسخن هو $21\,^0C$

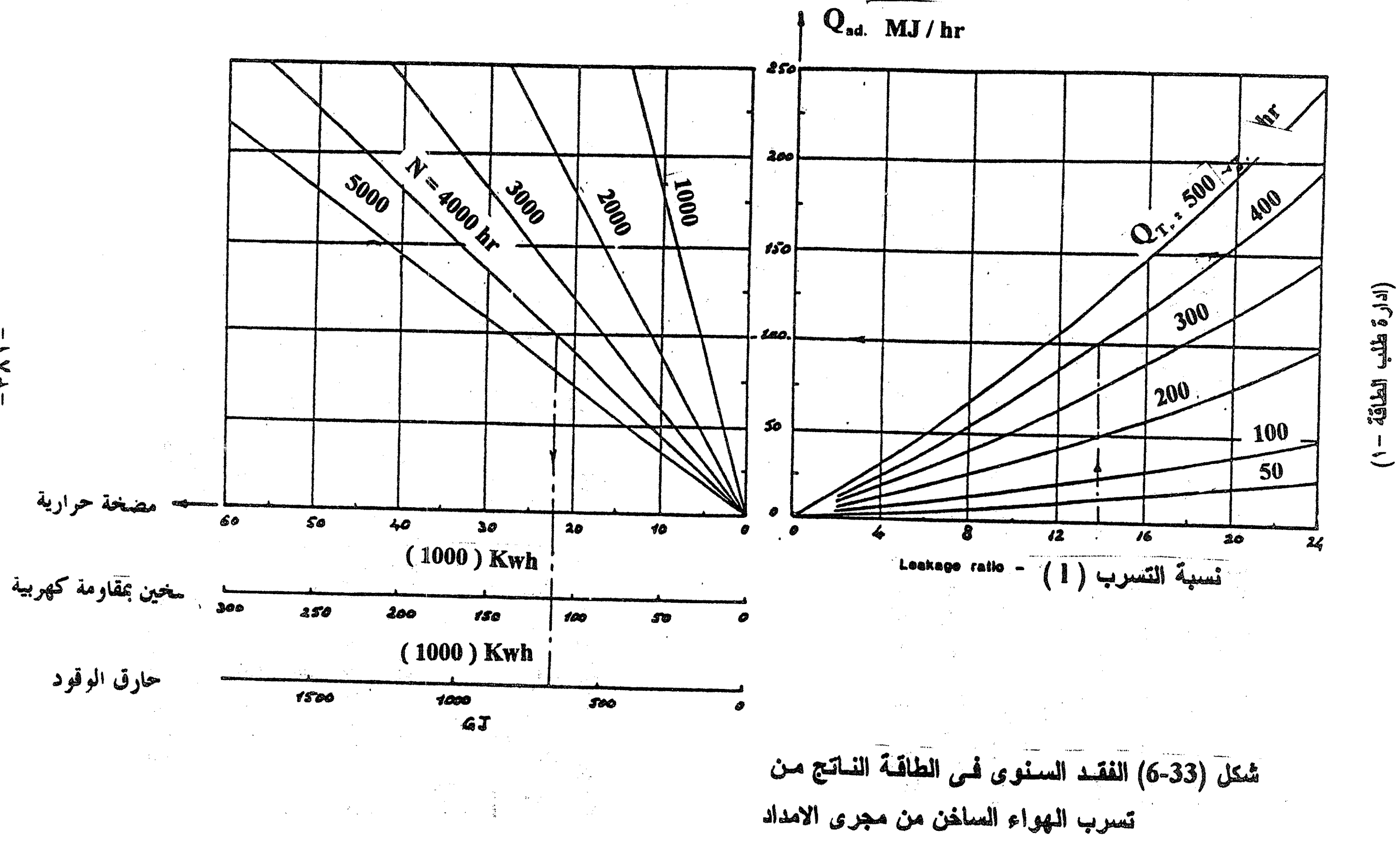
واذا اختلفت ظروف التأسيس فإنه يجب تصحيح القراءات الآتية:

$$Q_{ad.cor} = Q_{ad}\left\{0.65\frac{ho-h_S}{h_R-h_S}\right\}$$

$$REW_{cor} = REW\left\{0.65\frac{ho-h_S}{h_R-h_S}\right\}$$



شكل (6-32) مخطط بيانى للحصول على الفقد النسبى فى الطاقة الناتج من عدم احكام مجرى الامداد بالهواء المبرد



شكل (6-33) الفقد السنوى فى الطاقة الناتج من تسرب الهواء الساخن من مجرى الامداد

ويوضح شكل (6-34) مخطط بيانى للحصول على الفقد النسبى فى الطاقة الناتج عن عدم احكام مجرى الإمداد بالهواء الساخن ، وذلك بدلالة :

نسبة التهوية (VR) - نسبة التسرب (I)

3- التسرب فى مجرى الرجوع - تطبيقات التبريد

يوضح شكل (6-35) مخطط بيانى يستخدم لتقدير حمل التبريد الاضافى والفقد السنوى فى الطاقة نتيجة لعدم احكام مجرى الرجوع (يستخدم فى حالتى التسرب الخارج أو الداخل) وذلك بدلالة :

نسبة التسرب - حمل التبريد الكلى للحيز - عدد ساعات التشغيل

وقد بنى هذا المخطط على نفس الظروف المذكورة فى شكل (6-31)

ويمكن تصحيح E_w & Q_{ad} عند اختلاف الظروف كالآتى :

$$Q_{ad.cor} = Q_{ad}\left\{0.51\frac{ho-h_R}{h_R-h_S}\right\}$$

$$E_{w\text{-}cor} = E_w\left\{0.51\frac{ho-h_R}{h_R-h_S}\right\}$$

ويوضح شكل (6-36) مخطط بيانى لتقدير الفقد النسبى فى الطاقة الناتج عن عدم إحكام مجرى الرجوع فى تطبيقات التبريد بدلالة : نسبة التهوية (VR) - نسبة التسرب (I)

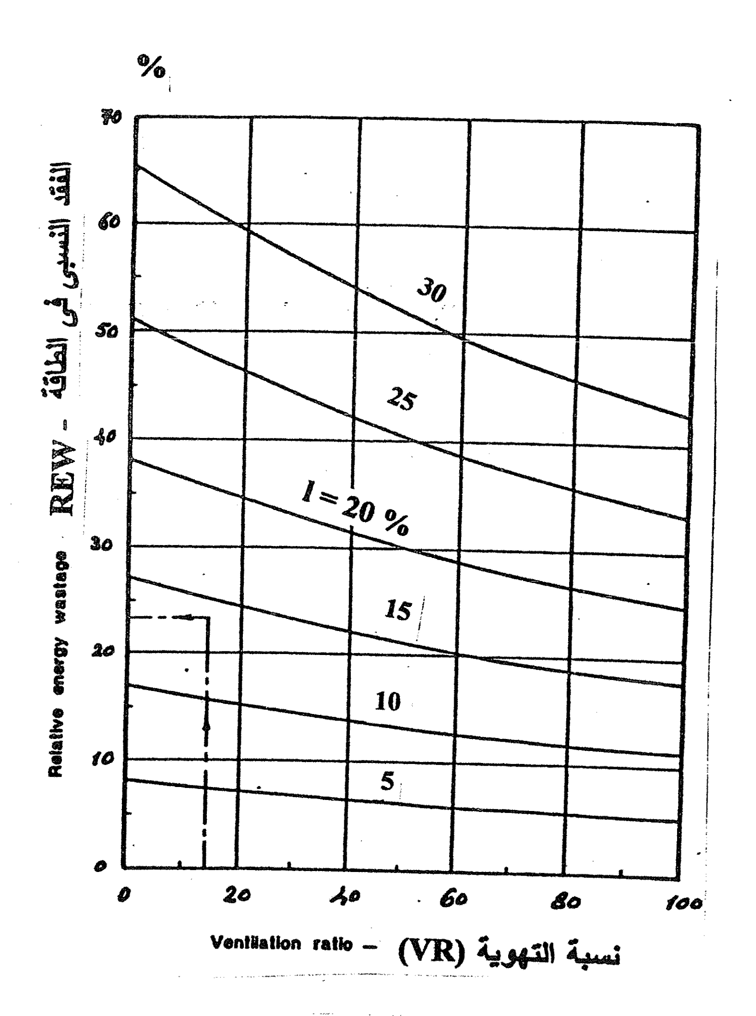
4- التسرب من مجرى الرجوع - تطبيقات التدفئة

يوضح شكل (6-37) مخطط بيانى يستخدم لتقدير حمل التدفئة الإضافى والفقد السنوى فى الطاقة نتيجة عدم إحكام مجرى الرجوع وذلك بدلالة :

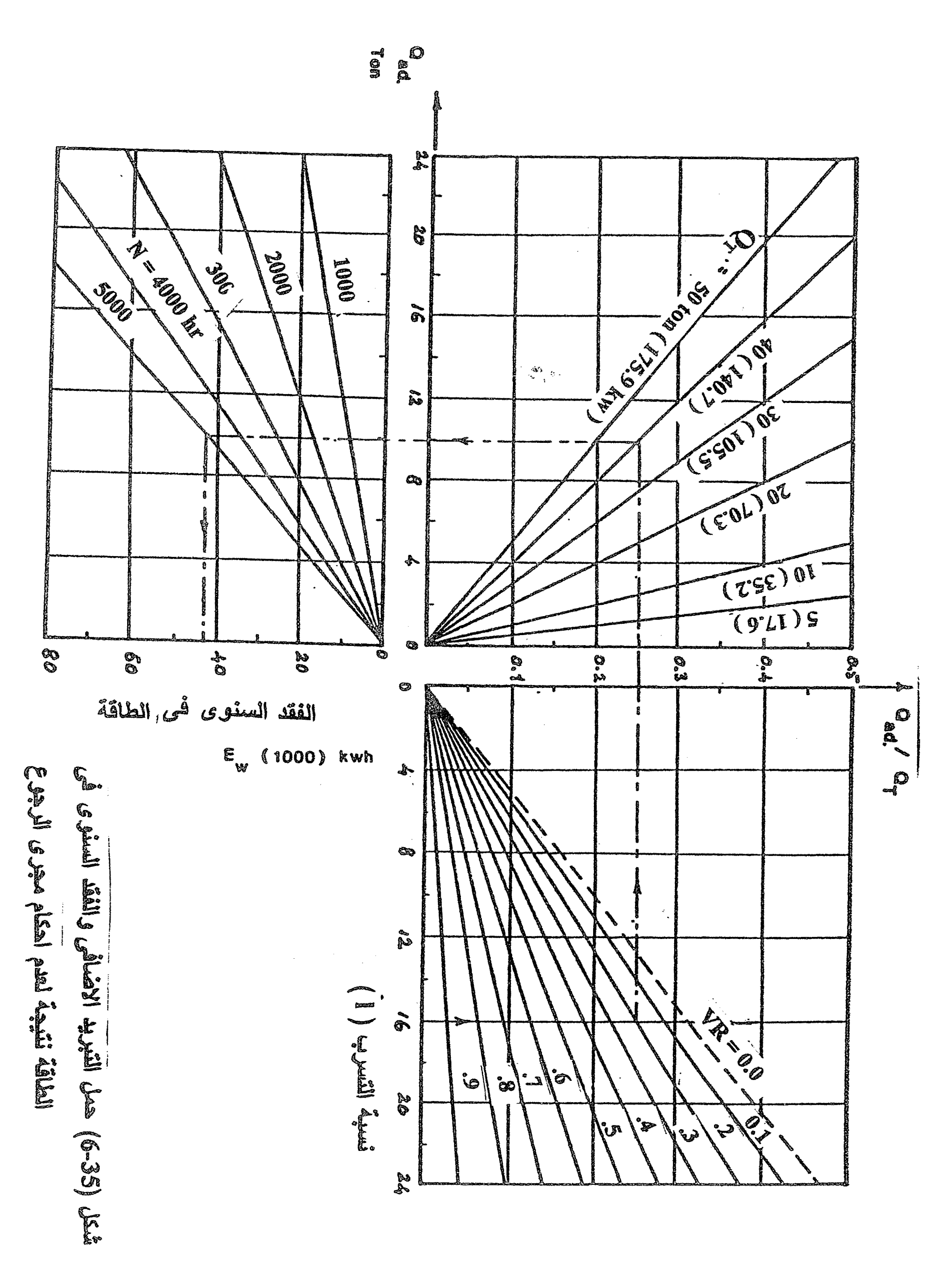
نسبة التسرب - حمل التدفئة الكلى - عدد ساعات التشغيل

وقد بنى هذا المخطط على نفس الظروف المذكورة فى شكل (6-33)

ويمكن تصحيح حمل التدفئة الاضافى والفقد السنوى فى الطاقة عند أختلاف الظروف كالآتى :



شكل (6-34) الفقد النسبى فى الطاقة الناتج عن عدم احكام مجرى الإمداد بالهواء الساخن



شكل (6-35) حمل التبريد الاضافى والفقد السنوى فى الطاقة نتيجة لعدم احكام مجرى الرجوع

$$Q_{ad.cor} = Q_{ad}\left\{1.86\frac{h_R - h_o}{h_S - h_R}\right\}$$

$$E_{w\cdot cor} = E_w\left\{1.86\frac{h_R - h_o}{h_S - h_R}\right\}$$

ويوضح شكل (6-38) مخطط بيانى لتقدير الفقد النسبى فى الطاقة الناتج عن عدم احكام مجرى الرجوع فى تطبيقات التدفئة بدلالة : نسبة التهوية (VR) - نسبة التسرب (I)

ثالثا : استخدام مراوح عالية الكفاءة فى نظام تكييف الهواء

بالرجوع إلى شكل (6-1) نجد أن نظام تكييف الهواء يحتوى على :

*مروحة الامداد (supply fan) والتى تكون مسئولة عن دفع الهواء المكيف خلال مجرى أو شبكة امداد الهواء إلى الحيز المكيف . وفى حالة عدم وجود مروحة رجوع (return fan) فان مروحة الإمداد تكون مسئولة أيضا عن استكمال دورة الهواء خلال مجرى الرجوع .

*مروحة الرجوع (return fan) والتى تكون مسئولة عن استكمال دورة الهواء خلال مجرى الرجوع.

يمكن أن يركب محرك المروحة إما داخل أو خارج مسار الهواء كما فى شكل (6-39) وتختلف مركبة حمل التبريد (cooling load) المقابلة للقدرة الهوائية تبعا لمكان تركيب محرك المروحة .

فى حالة تركيب المحرك خارج مسار الهواء :

نحصل على حمل التبريد المقابل لقدرة المروحة من المعادلة الآتية :

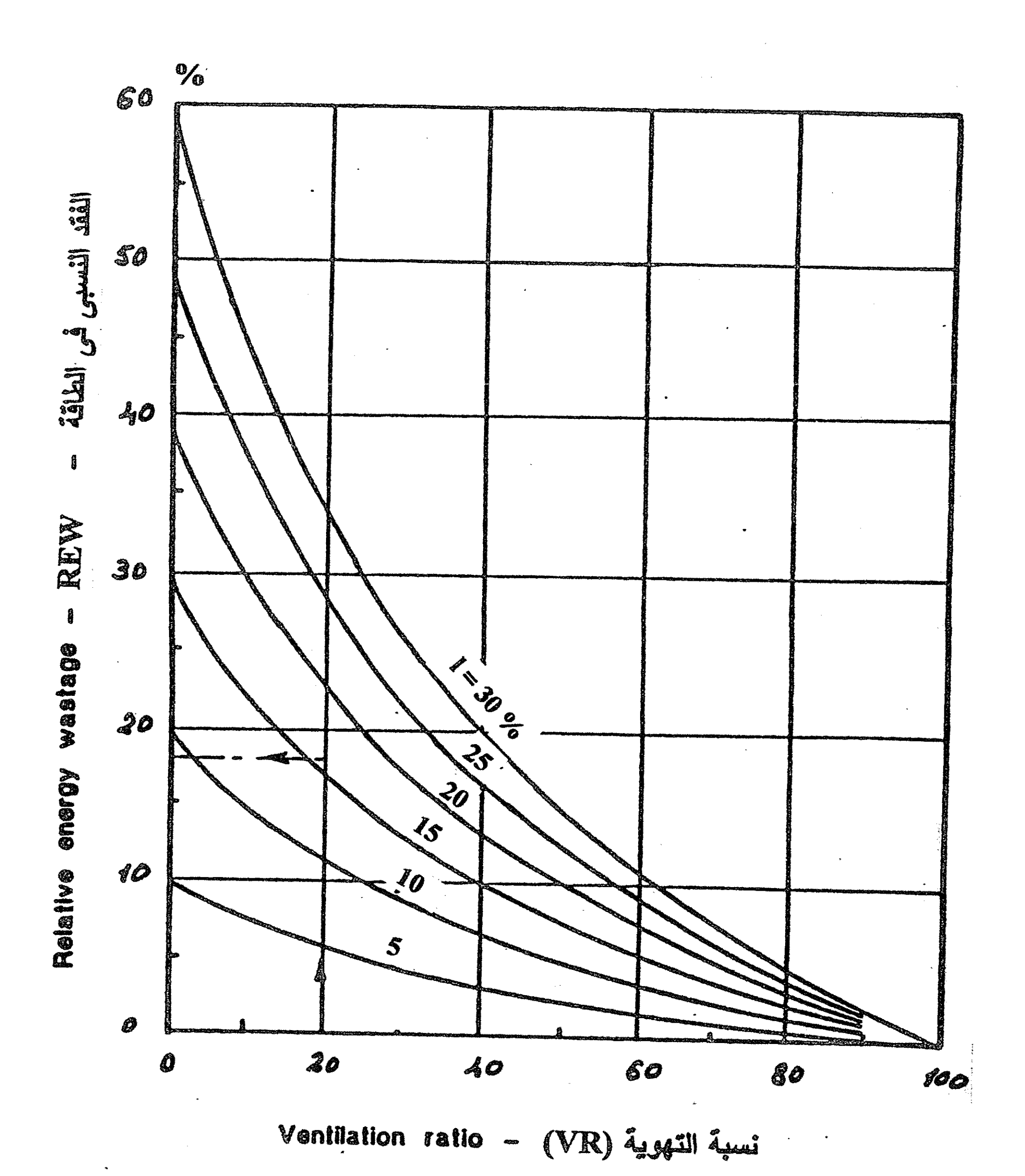
cooling load due to fan power = $P_a + L_F + L_T$

حيث :

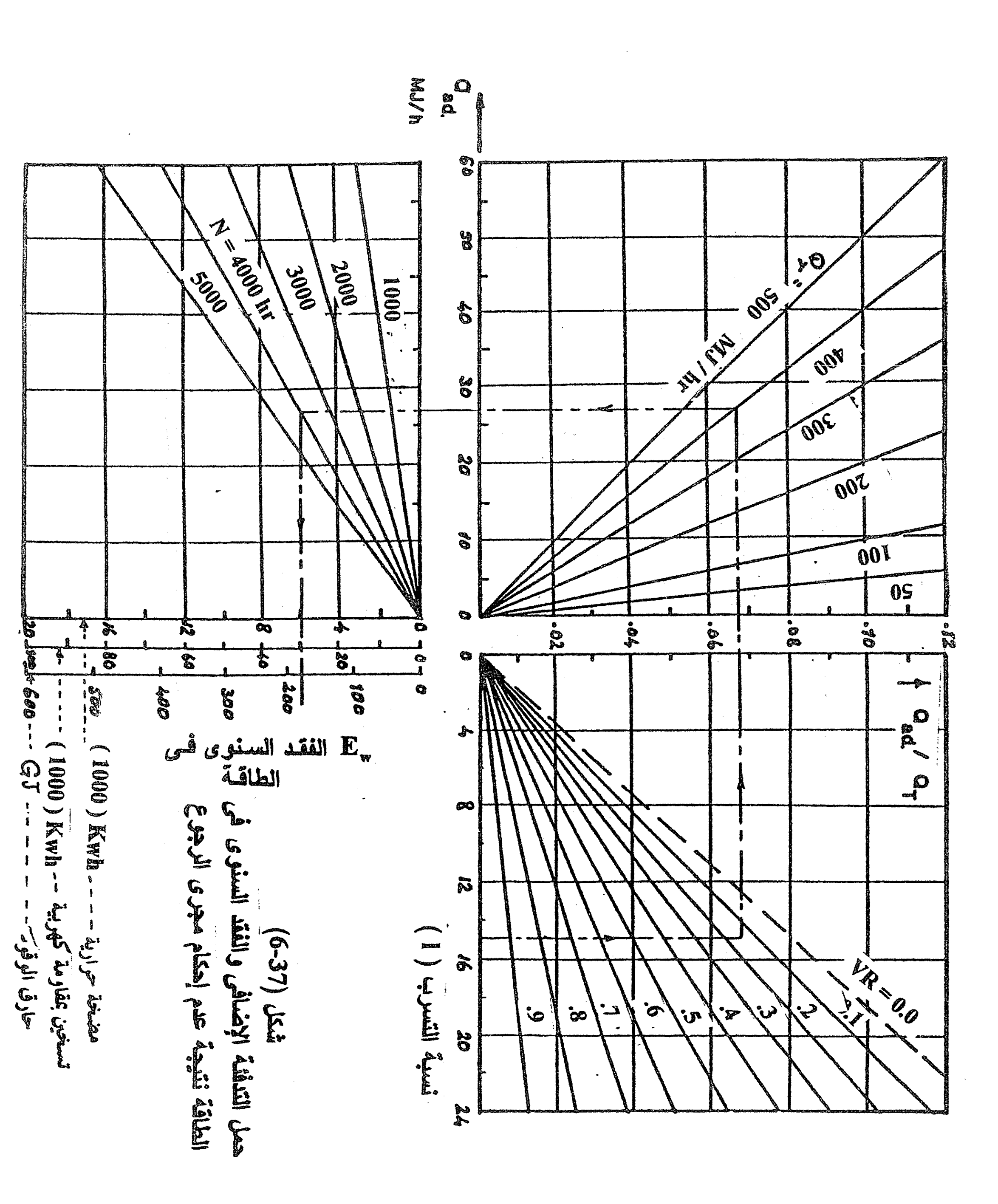
P_a = القدرة الهوائية (air power kw) (kw)

L_F = فقد القدرة فى المروحة (power loss in the fan kw) (kw)

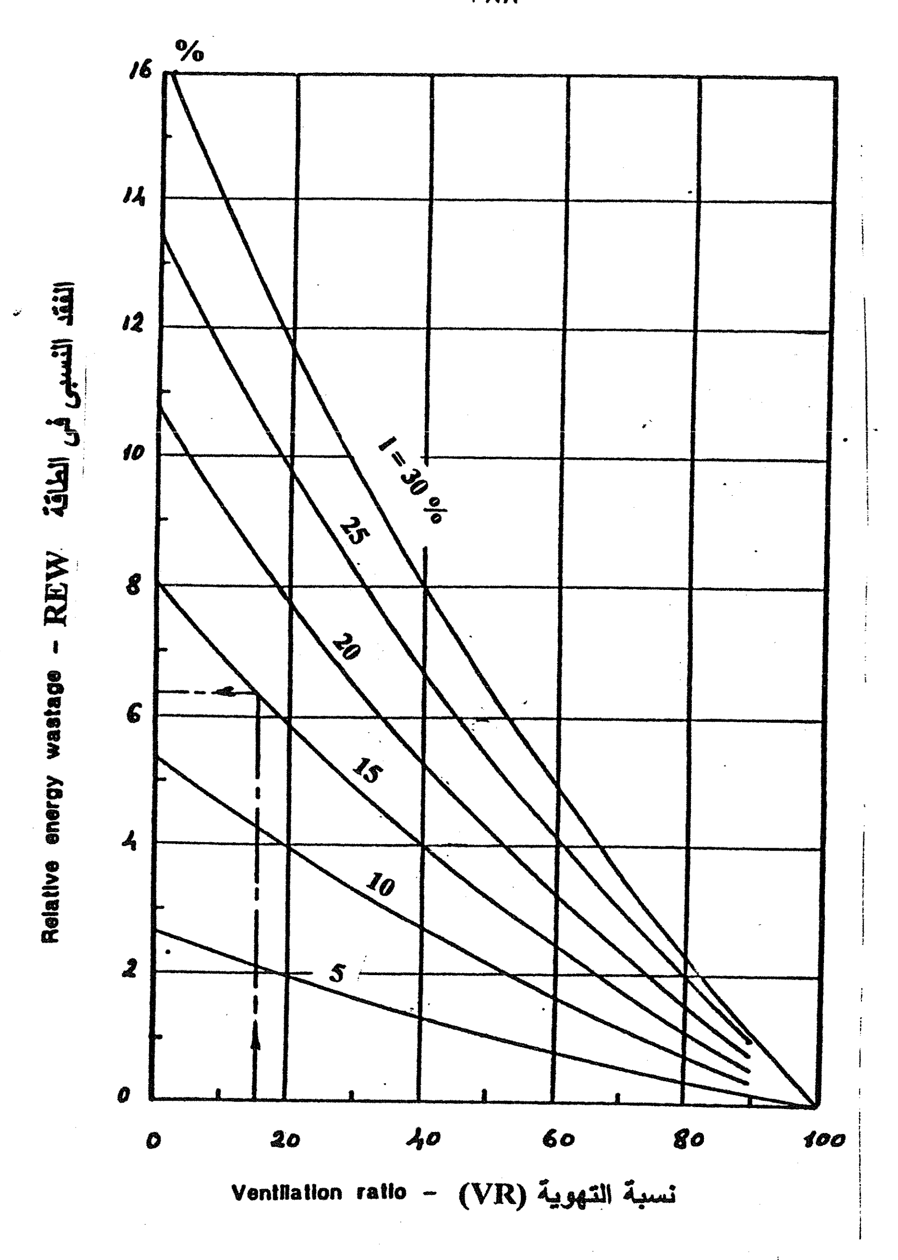
L_T = فقد القدرة فى نقل الحركة (power loss during transmission kw) (kw)



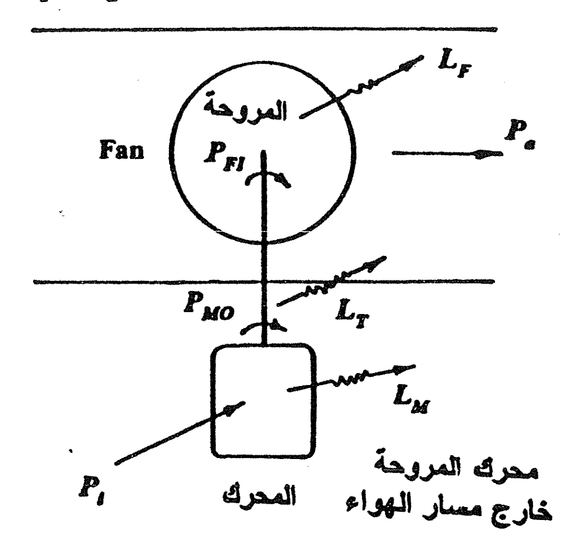
شكل (6-36) الفقد النسبى فى الطاقة الناتج عن عدم إحكام مجرى الرجوع فى تطبيقات التبريد

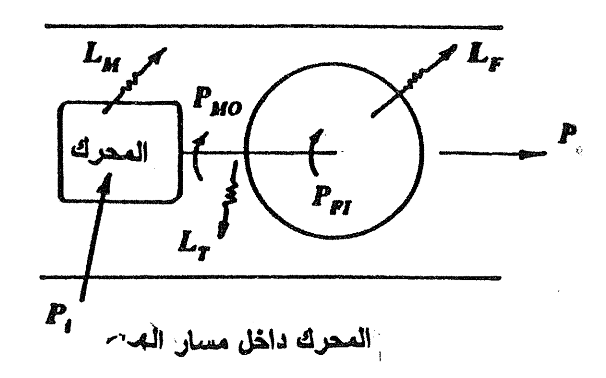


شكل (6-37)
حمل التدفئة الإضافى والفقد السنوى فى الطاقة نتيجة عدم إحكام مجرى الرجوع



شكل (6-38) الفقد النسبى فى الطاقة الناتج عن عدم احكام مجرى الرجوع فى تطبيقات التدفئة





المحرك داخل مسار الهـ

شكل (6-39)

(يلاحظ أنه يمكن أن يأخذ جزء أو كل هذا الفقد عند حساب حمل التبريد)
فى حالة تركيب المحرك داخل مسار الهواء :
نحصل على حمل التبريد المقابل لقدرة المروحة تبعا للمعادلة الآتية :

cooling load due to fan power = $P_i = P_a + L_F + L_T + L_M$

حيث :
P_i = القدرة الابتدائية لمدخل المحرك
(Initial electric power input to the fan motor kw) (kw)

L_M = فقد القدرة فى المحرك (kw) (power loss in the electric motor kw)
وفيما يلى العلاقة بين كفاءة مكونات المجموعة (المروحة - المحرك - وسيلة النقل) والفقد :

$$\left.\begin{array}{ll} P_{MO} = \eta_M P_i & L_M = P_i - P_{MO} \\ P_{FI} = \eta_T P_{MO} & L_T = P_{MO} - P_{FI} \\ P_a = \eta_F P_{FI} & L_F = P_{FI} - P_a \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots [6-9]$$

حيث :

η_M = كفاءة المحرك (Electric - motor efficiency)
η_T = كفاءة نقل القدرة (Power - transmisson efficiency)
η_F = كفاءة المروحة (Fan efficiency)
P_{MO} = قدرة مخرج المحرك (Motor power output kw) (kw)
P_{FI} = قدرة المدخل للمروحة (Power input to the fan kw) (kw)

يمكن تحقيق وفر فى الطاقة باتباع الآتى :
1- تخفيض الحمل الاضافى الناتج من فقد القدرة فى المروحة (المركبة L_F) .
2- تخفيض الطاقة اللازمة لادارة المروحة خلال أى فترة لتشغيل النظام .

ويتم ذلك برفع كفاءة المروحة ، ونلاحظ من المعادلات رقم (6-9) أن :

$$P_i = P_a / \eta_M \eta_T \eta_F \cdots\cdots\cdots [6-10]$$

أى أنه برفع كفاءة المروحة (η_F) يقل دخل القدرة الكهربائية (P_i) إلى المحرك ويؤول ذلك إلى خفض استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لادارة المروحة .
لذا يجب عند شراء مراوح تكييف الهواء أن يؤخذ فى الاعتبار حسن اختيار المروحة لاداء مهمة معينة ، لأن كفاءة أى مروحة تختلف باختلاف ظروف تشغيلها ، فمثلا يوضح شكل (6-40) خصائص اختيار المروحة لتطبيق معين ، ويفضل اختيار المروحة بحيث تعمل عند نقطة التشغيل المثلى (optimum operating point) أو بالقرب منها حتى نحقق أعلى كفاءة ممكنة .
وفيما يلى حساب الطاقة المفقودة فى كل من تشغيل ضاغط التبريد وتشغيل المروحة .

أ - الطاقة المفقودة فى تشغيل ضاغط التبريد

تعرف القدرة المثالية (optimum power) ، (أو القدرة الهوائية Air power) بأنها القدرة اللازمة لادارة المروحة فى الحالة المثالية التى لا يتواجد فيها أسباب فقد القدرة . أو هى القدرة المودعة فى تيار الهواء واللازمة لتحريكه ، ونحصل عليها من المعادلة الآتية

$$P_a = \dot{V} \Delta P \cdots\cdots\cdots [6-11]$$

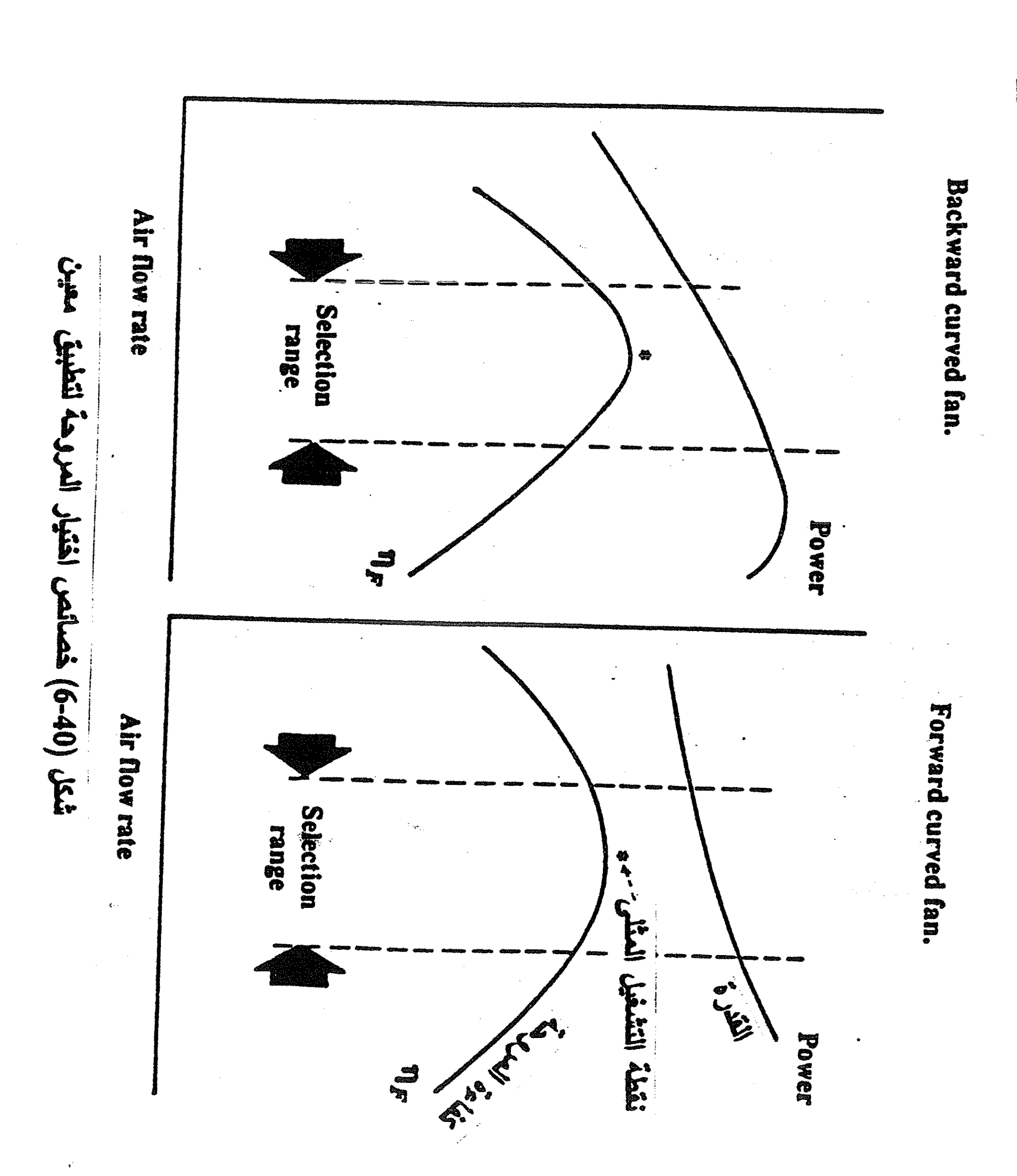
حيث :

ΔP = هبوط الضغط بوحدات باسكال (pressure drop Pa.) Pa.

$\dot{V}$ = معدل السريان الحجمى لتصرف الهواء

(Volumetric flow rate in supply duct m^3/s)

فى حالة انخفاض كفاءة (Deficiency) المروحة يتحمل نظام التبريد حمل اضافى يحسب من المعادلة الآتية :



شكل (6-40) خصائص اختيار المروحة لتطبيق معين

$$Q_{ad} = P_a\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) \cdots\cdots\cdots\cdots [6-12]$$

بالتعويض من المعادلة (6-11) نحصل على

$$Q_{ad} = \dot{V}\,\Delta P\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) \cdots\cdots\cdots [6-13]$$

ونحصل على الفقد السنوى فى الطاقة (E_W) من المعادلة الآتية :

$$E_w = Q_{ad}\frac{N}{COP}$$

$$= \dot{V}\,\Delta P\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right)\frac{N}{COP} \cdots\cdots\cdots\cdots [6-14]$$

ونلاحظ أن المعادلتين (6-13) ، (6-14) بدلالة معدل تصرف هواء الإمداد ($\dot{V}$) والذى يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية :

$$\dot{V} = \frac{Q_S}{\rho\, C\,(t_R - t_S)} \cdots\cdots\cdots\cdots [6-15]$$

حيث :

Q_S = الحمل المحسوس للحيز المكيف (Space sensible load ,kw) (kw)

ρ = كثافة الهواء (Density of air ,kg/m^3) (kg/m^3)

C = الحرارة النوعية للهواء (Specific heat of air ,KJ/kg.k) (KJ/kg.k)

t_R = درجة الحرارة الداخلية (Room, or inside, temperature, k) (k)

t_S = درجة حرارة هواء الامداد المبرد (Supply - air temperature, k) (k)

بالتعويض فى المعادلة (6-14) باستخدام المعادلة (6-15) نحصل على

$$E_w = Q_s \frac{\Delta P}{\rho\, C\, (t_R - t_s)} \left(\frac{1}{\eta_F} - 1 \right) \frac{N}{COP} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots [6\text{-}16]$$

وكبديل لاستخدام المعادلات السابقة ، يمكن استخدام المخطط البياني الموضح بشكل (6-41) والذى نحصل منه على كل من الفقد السنوى فى الطاقة المستهلكة لتشغيل نظام التبريد وحمل التبريد الكلى وذلك بدلالة كل من : $N \ \& \ \Delta P \ \& \ \dot{V} \ \& \ \eta_F$

بينما يستخدم المخطط البيانى الموضح بشكل (6-42) للحصول على كل من الفقد السنوى فى الطاقة المستهلكة لتشغيل الضاغط وحمل التبريد الاضافى بدلالة كل من :

$$Q_s \ \& \ \Delta P \ \& \ (t_R - t_S) \ \& \ \eta_F$$

مثـــال

نظام تبريد بياناته كالآتى :

$\dot{V} = 15 \ m^3/s$

$\Delta P = 1000 \ Pa$

$\eta_F = 45 \%$

$N = 5000 \ h/year$

احسب الفقد فى الطاقة المستهلكة لادارة الضاغط ؟ ثم احسب الوفر السنوى فى الطاقة الناتجة من استبدال المروحة بأخرى ذات كفاءة 80 %

الحـــل

باستخدام المتغيرات $N \ \& \ \Delta P \ \& \ \dot{V}$ عند $\eta_F = 45 \%$

ومن المنحنيات بشكل (6-41) نحصل على :

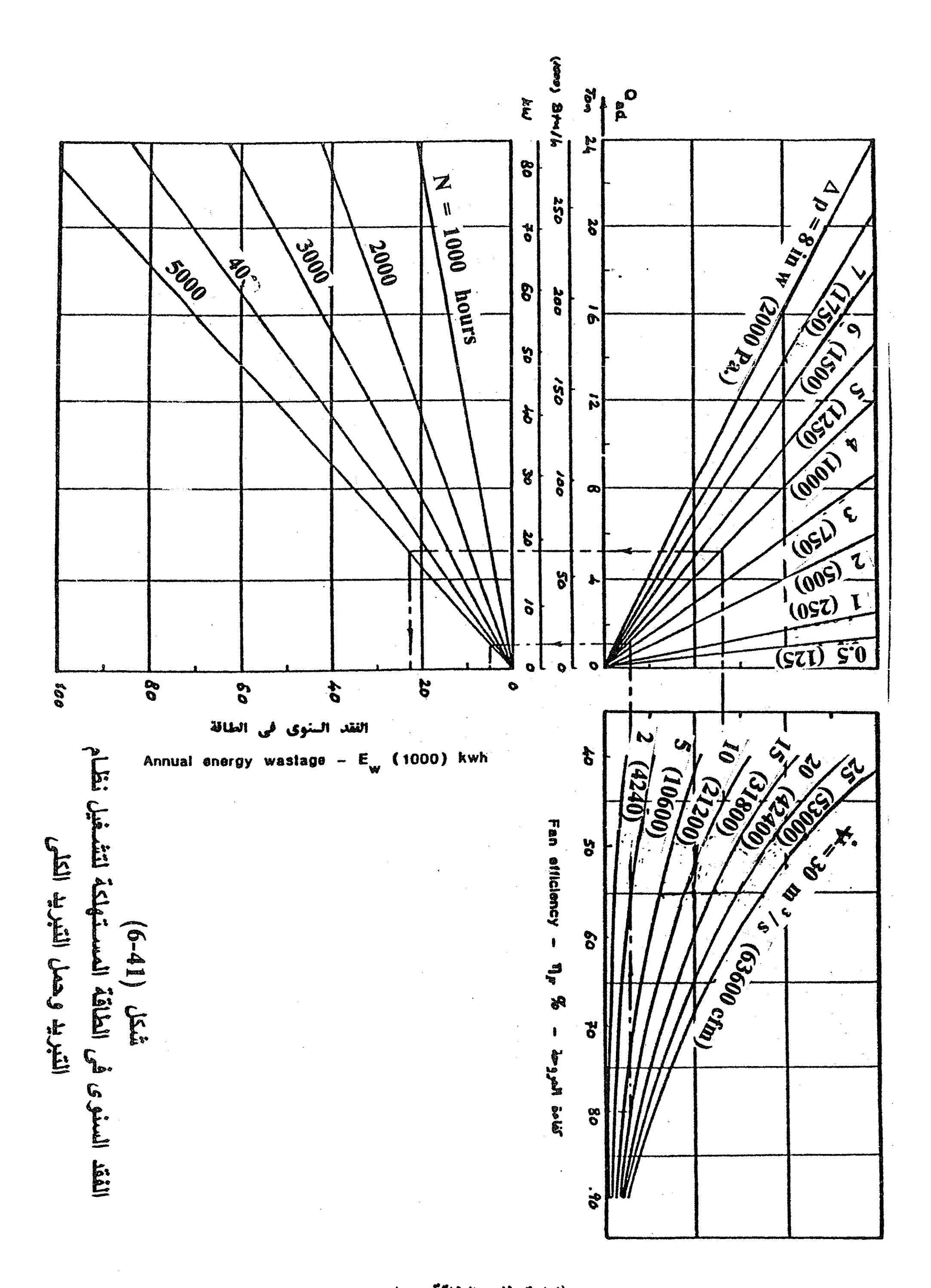
$E_w = 23000 \ kwh$

وعند $\eta_F = 80 \%$ نحصل على :

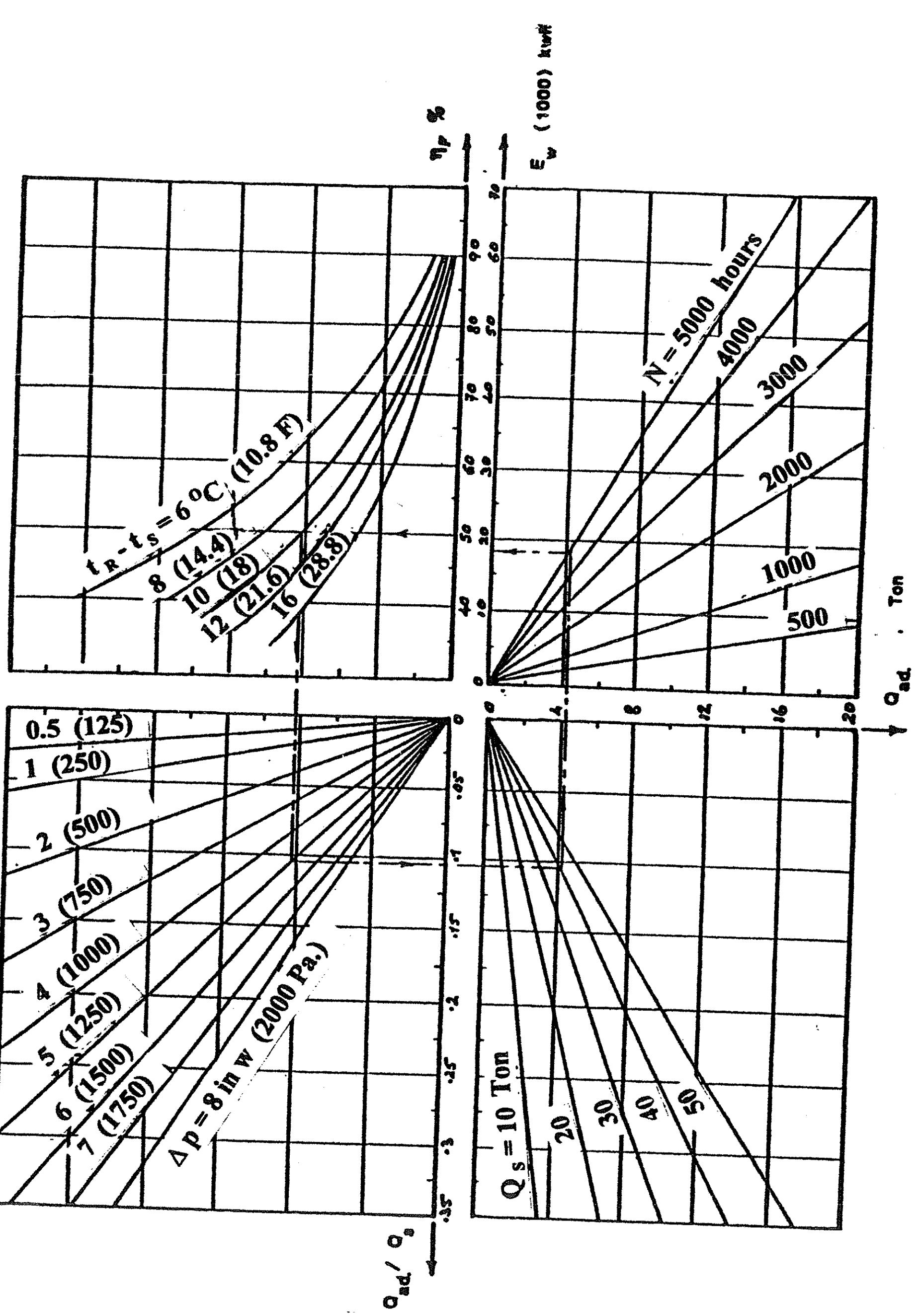
$E_w = 5500 \ kwh$

وعلى ذلك نحصل على وفر سنوى فى الطاقة يساوى

$E_{sav} = 23000 - 5500 = 17500 \ kwh$



شكل (6-41)
الفقد السنوى فى الطاقة المستهلكة لتشغيل نظام التبريد وحمل التبريد الكلى



شكل (6-42) للحصول على كل من الفقد السنوى
فى الطاقة المستهلكة لتشغيل الضاغط وحمل التبريد الاضافى

(ادارة طلب الطاقة -١)

ب – فقد الطاقة فى تشغيل المروحة

كما ذكر سابقا ، يؤدى انخفاض كفاءة المروحة إلى زيادة قدرة مدخل المحرك الكهربى اللازمة لادارة المروحة . وتحسب القدرة الاضافية اللازمة تبعا للمعادلة الآتية :

$$P_{ad} = \frac{P_a}{\eta_M \eta_T}\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) \cdots\cdots\cdots\cdots [6-17]$$

$$= \frac{\dot{V}\,\Delta P}{\eta_M \eta_T}\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) \cdots\cdots\cdots\cdots [6-18]$$

وتكون معادلة الفقد السنوى فى الطاقة كالأتى :

$$E_w = P_{ad} N$$

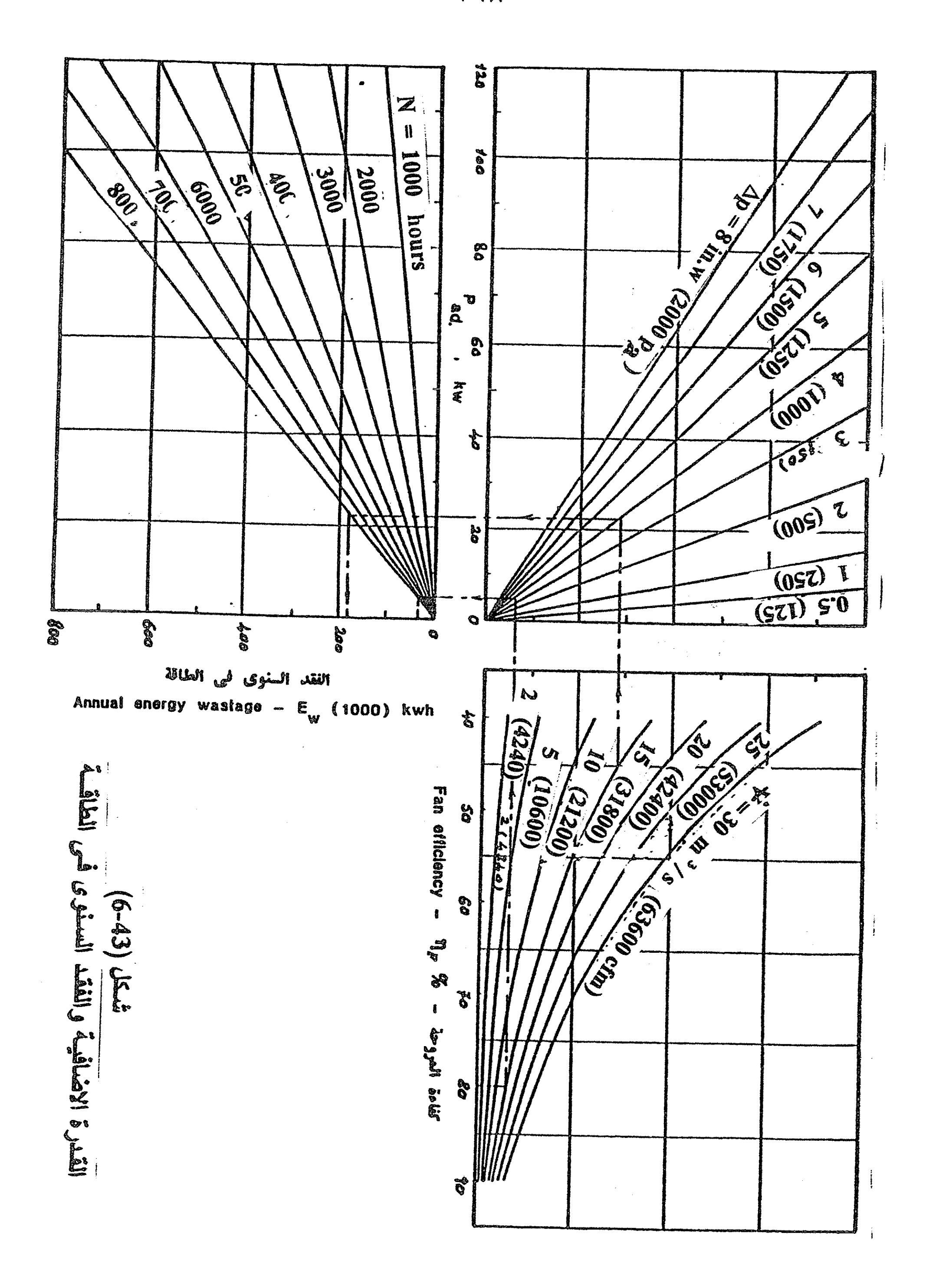
$$= \frac{\dot{V}\,\Delta P}{\eta_M \eta_T}\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) N \cdots\cdots\cdots\cdots [6-19]$$

بالتعويض فى المعادلتين(6-19) ، (6-18) من المعادلة (6-15) نحصل على القدرة الاضافية والفقد السنوى بدلالة حمل التبريد للمكان المكيف ، وتصبح المعادلتين كالآتى :

$$P_{ad} = \frac{Q_S}{\eta_M \eta_T}\ \frac{\Delta P}{\rho\, C(t_R - t_S)}\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) \cdots\cdots\cdots\cdots [6-20]$$

$$E_w = \frac{Q_S}{\eta_M \eta_T}\ \frac{\Delta P}{\rho\, C(t_R - t_S)}\left(\frac{1}{\eta_F} - 1\right) N \cdots\cdots\cdots\cdots [6-21]$$

وكبديل عن استخدام المعادلات السابقة ، يمكن استخدام المخطط البيانى الموضح بشكل (6-43) للحصول على القدرة الاضافية والفقد السنوى فى الطاقة بدلالة كل من :
N & ΔP & $\dot{V}$ & η_F



شكل (6-43)

القدرة الإضافية و الفقد السنوى فى الطاقة

بينما باستخدام المخطط البيانى الموضح بشكل (6-44) نحصل على القدرة الاضافية والفقد السنوى فى الطاقة بدلالة كل من : Q_S & ΔP & $(t_R - t_S)$ & η_F
وقد تم اعداد هذان المخططان على أساس القيمة الثابتة $\eta_M \eta_T = 0.8$ وفى حالة الحيود عن هذه القيمة يجب ضبط القيمة المقروءة لكل من القدرة الاضافية والفقد فى الطاقة بضربها فى معامل التصحيح والذى يساوى

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{0.8}{\eta_M \eta_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots [6-22]$$

مثــال

نظام تكييف هواء بياناته كالأتى :

$$Q_S = 40 \text{ ton}$$
$$t_R - t_S = 10\ ^0C$$
$$\Delta P = 1250 \text{ Pa}$$
$$\eta_F = 50\ \%$$
$$N = 8000 \text{ h/year}$$

احسب الفقد فى الطاقة المستهلكة لادارة المروحة .

الحــل

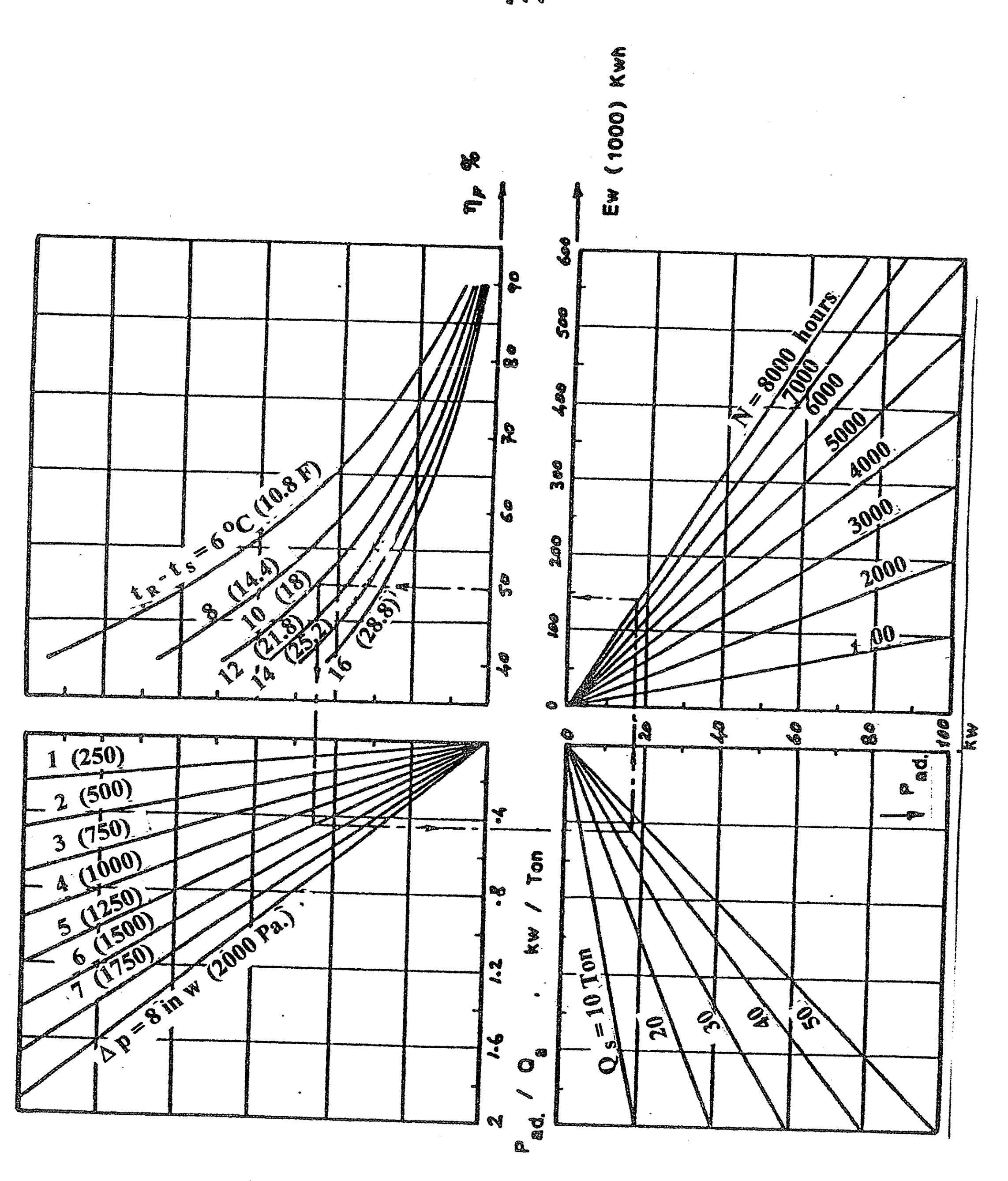
من شكل (6-44) نحصل على :

$$E_w = 145000 \text{ kwh}$$

رابعا : اختيار فتحات إمداد ورجوع الهواء

يتم الاتصال بين نظام توزيع الهواء والمكان أو الأماكن المكيفة عن طريق فتحات الامداد (supply outlet) وفتحات الرجوع (Return outlet) ، كما هو واضح فى شكل (6-1) وعند الانشاء يتم اختيار عدد الفتحات وسعتها ونوعها وأماكن تركيبها بما يحقق أفضل توزيع للهواء داخل الحيز أو المكان المكيف .

فى هذا الجزء سنتعرض لهذه الفتحات كأحد مصادر الفقد فى الطاقة .



شكل (6-44) القدرة الاضافيـة
والفقد السنوى فى الطاقة

فمن المعروف أن هذه الفتحات تسبب هبوط فى ضغط الهواء المار خلالها ، والذى يؤدى إلى فقد جزء من قدرة المدخل اللازم لادارة المراوح يستهلك للتغلب على مقاومة هذه الفتحات .

ويعرف حمل فتحات الامداد والرجوع بأنه تصرف الهواء المطلوب امراره خلال الفتحات .

وتحدد خصائص الفتحات بالآتى :

الحمل – مساحة الوجه – سرعة خروج الهواء .....

ومن المعروف أنه كلما كانت نظم التكييف ذات سعات كبيرة كلما بلغ تصرف الهواء قيما كبيرة وبالتالى يمكن بالاختيار الأمثل لفتحات الامداد والرجوع الحصول على وفر سنوى فى الطاقة ملموس .

يتم حساب التخفيض فى قدرة المدخل اللازمة لادارة المروحة تبعا للمعادلة الآتية :

$$P_{sav} = \dot{V}\, \Delta P_{red} / \eta_M \eta_T \eta_F \cdots\cdots\cdots [6-23]$$

ويكون الوفر السنوى فى الطاقة الكهربائية تبعا للمعادلة :

$$E_{sav} = P_{sav} . N$$

$$= \dot{V}\, \Delta P_{red} N / \eta_M \eta_T \eta_F \cdots\cdots\cdots [6-24]$$

كذلك يمكن استخدام المخطط البيانى الموضح بشكل (6-45) للحصول على التخفيض فى القدرة الكهربائية ، وأيضا الوفر السنوى فى الطاقة بدلالة كل من : $\dot{V}$ & η_F & N & ΔP_{red} ، وعلى أساس أن $\eta_T \eta_M = 0.8$ ، وعند الحيود عن هذه القيمة يجب ضبط القيمة المقروءة لكل من P_{sav} & E_{sav} بضربها فى معامل التصحيح والذى يساوى :

$$\text{معامل التصحيح} = \frac{0.8}{\eta_M \eta_T}$$

مثـــال

نظام تكييف بياناته كالآتى :

$$\dot{V} = 60\ m^3/s$$

$$\eta_F = 50\ \%$$

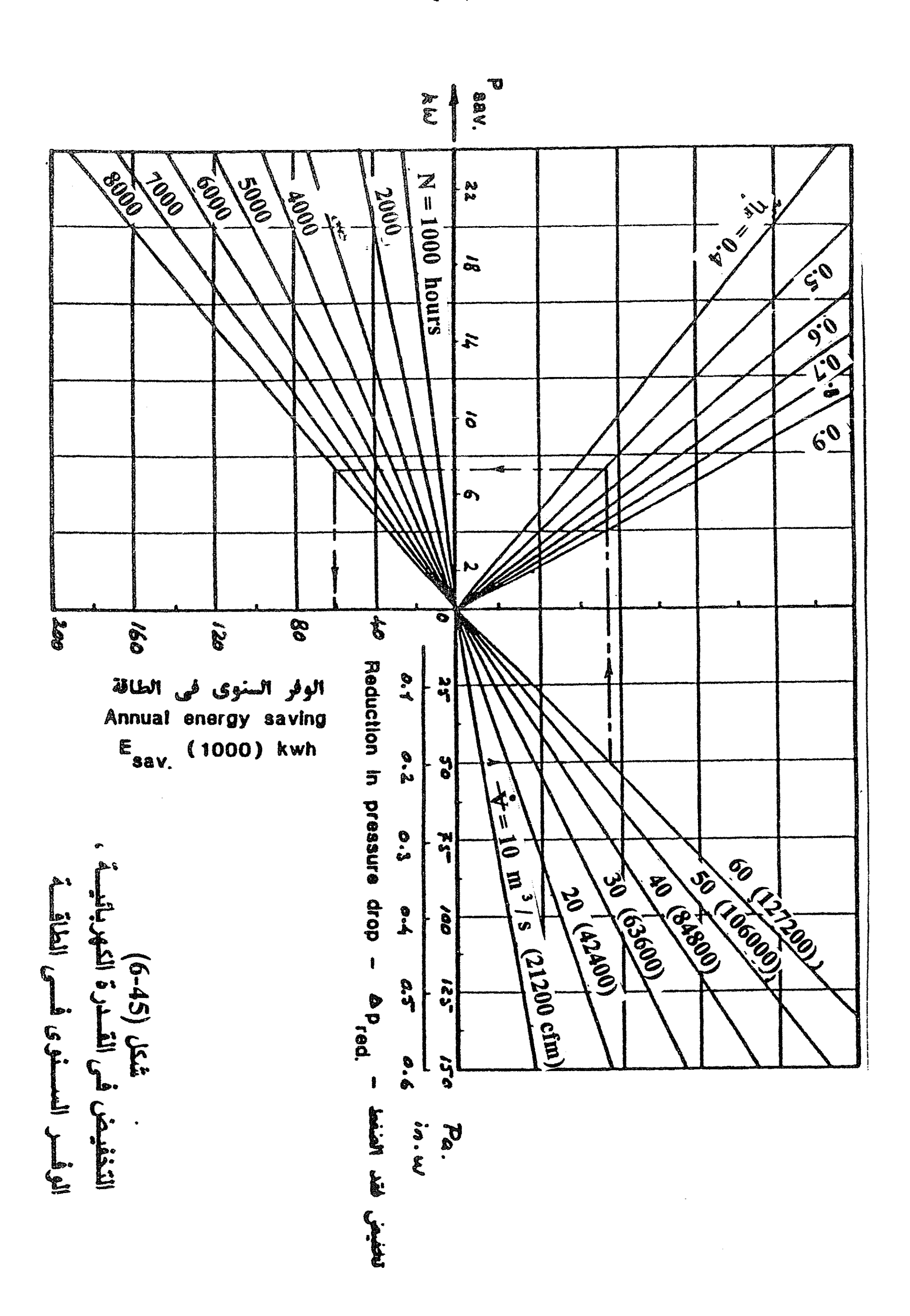
$$N = 8000\ h/year$$

اذا أمكن تقليل فقد الضغط فى فتحات الامـداد بمقدار $\Delta P = 50\ Pa$ ، فمـا هـو الوفـر السنوى الممكن تخفيضه فى الطاقة المستهلكة لادارة المروحة ؟

الحــل

باستخدام البيانات السابقة ومن شكل (6-45) نحصل على

$$E_{sav} = 62000\ kwh$$



شكل (45-6)
التخفيض في القدرة الكهربائية ،
الوفر السنوي في الطاقة

REFERENCES

1 - Demand Side Management
Energy Conservation and Environment Project
(ECEP)
ECEP is Sponsored by USAID
July 1994
2 - Steam Efficiency Improvement
Boilor Efficiency Institute
By : David Dyer ,Glennon Maples , Timothy Maxwell
Auburn , Alabama 1981
3 - Energy Management
Hand book
By :Wayne C.Turner
School of Industrial Engineering and Management
Oklahoma State University
4 - Demand - Side Management
Concepts and Methods
Second Edition
By :Clark W.Gellings John H.Chamberlin
5 - Boiler Plant and Distribtion System
Optimization Manual
By . Harry R . Taplin Jr. pE . C.E.M
6 - Industrial Furnaces
Energy Conservation and efficiency project (ECEP) 1992
7 - Strategic Planning of Energy and Environment
F .William Payne
Vol . 12 No . 2 1992



8 - Energy Engineering
Anna Fay Williams
Vol . 89 No . 2 1992
9 - Energy Engineering
Anna Fay Williams
Vol . 89 No . 5 1992
10 - Energy Engineering
Randall Scott Sumpter
Vol . 90 No . 1
11 - Energy Engineering
Randall Scott Sumpter
Vol . 90 No . 2
12 - Standard Handbook For Mechanical Engineers
Theodore Baumeister
Seven Edition
TOKYO

١٣ - البخار مبادئ - تطبيقات
د.م رمضان أحمد محمود
كلية الهندسة / جامعة الاسكندرية
١٤ - كفاءة استخدام الطاقة فى نظم البخار
مشروع ترشيد الطاقة وحماية البيئة - ١٩٩٥
١٥ - محاضرات الأستاذ الدكتور / سامى الشربيبى
كلية الهندسة / جامعة الاسكندرية
١٦ - تكنولوجيا المعادن
أ- ماليشيف ج - نيكولاييف ء - شوقالوف
١٧ - ترشيد الطاقة فى نظم نقل وتوزيع الهواء
فى تطبيقات تكيف الهواء
أستاذ دكتور / محمد فوزى الرفاعى
كلية الهندسة - جامعة القاهرة
مركز بحوث التنمية والتخطيط التكنولوجى
١٨ - تحسين كفاءة الاحتراق
مشروع ترشيد الطاقة وحماية البيئة - ١٩٩٥

الفهرس

الباب الثالث

الباب الرابع

الباب السادس

للمؤلفة:

١ - المكثفات وتحسين معامل القدرة.

٢ - المحولات الكهربائية - الجزء الأول.

٣ - المحولات الكهربائية - الجزء الثاني.

٤ - الوقاية في الشبكات الكهربائية - الجزء الأول.

٥ - التوافقيات في الشبكات الكهربائية.

٦ - جودة التغذية الكهربائية.

٧ - الإضاءة وتوفير الطاقة.

٨ - الوقاية في الشبكات الكهربائية - الجزء الثاني.

٩ - إدارة طلب الطاقة - الجزء الأول.

١٠- البيئة وغازات الاحتباس الحراري.

١١- إدارة طلب الطاقة - الجزء الثاني.

١٢- اضطرابات جودة التغذية الكهربائية.

رقم الايداع بدار الكتب المصرية

١٣٩١١ / ٩٧

دار الجامعيين

لطباعة الأوفست

٣٧ شارع السلطان عبد العزيز - الأزاريطة

ت: ٤٨٦٢٠٠٤